



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# Pols, gasos, vent i cendres: radars làser per al sondeig de l'atmosfera

**Adolf Comerón\*, Francesc Rocadenboch, Michaël Sicard, Constantino Muñoz, Alejandro Rodríguez, David Garcia-Vizcaino, Mohd Nadzri Md Reba, Oscar Batet, Dhiraj Kumar, Ricardo Barrios**

\* [comeron@tsc.upc.edu](mailto:comeron@tsc.upc.edu)



Universitat Politècnica de Catalunya  
 Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



LETTERS TO THE EDITOR

ASTROPHYSICS

Optical Echoes from the Moon

Experiments have been conducted to focus pulsed optical radiation on to the surface of the Moon and to detect the echoes.

A ruby optical maser radiating pulses of approximately 50 joules energy, 0.5-msec. duration, at 6934 Å. was used as the source. The transmitting optical system included a Cassegrainian telescope of 12-in. diameter. The echoes were received on a Cassegrainian telescope of 48-in. diameter, passed through an interference filter of 7 Å. band-width and were detected with a photomultiplier tube of spectral response type S-20, cooled to liquid nitrogen temperature. The field of view of the receiving telescope was 0.2 milliradians.

The photoelectron count obtained in a 0.5-msec. interval at the expected time-delay was compared with the counts obtained in 0.5-msec. intervals where no echoes would be expected and where the only relevant contributions to the count were those due to noise, that is, to Earthlight and scattered light (photoelectric dark current was negligible).

Fundamental Band of the Quadrupole Spectrum of the Hydrogen Molecule

This application of interferometric techniques to astrophysical problems in the near infra-red shows considerable promise. The abundance of hydrogen in planetary atmospheres is probably of major importance.

Herzberg<sup>1</sup> observed the 2-0 and 3-0 bands of the quadrupole spectrum of hydrogen using pressures of 10 atmospheres and optical paths of 10-55 km. atmospheres. In addition, an induced dipole spectrum of hydrogen has been found by Chisholm, MacDonald, Crawford and Welsh<sup>2</sup> by making measurements in the pressure-range of hundreds to thousands of atmospheres.

We have observed the 1-0 band of the quadrupole spectrum of hydrogen. The spectrograph used was of the echelle type described previously<sup>3</sup>. An 8-metre 'White' multiple reflexion absorption tube allowed the optical path to be varied from 32 to several hundred meters. The pressures of hydrogen gas used varied from 1 to 12 atmospheres. The lines observed were Q(1), S(0), S(1) and S(2). The wave numbers of these lines have been measured to a precision of a

Table 1

	1	2	3	4	5	6	7
	Eastern standard time	Region of the Moon	No. of flashes	No. of intervals	Average noise	S.D.	Average count in expected interval
May 9, 1962	21.56-22.07 hr.	Albatagnius 15° S., 5° E.	11	15	1.11	0.28	1.91
May 10, 1962	21.52-22.34 hr.	Copernicus 10° N., 20° W.	23	16	1.39	0.22	1.74
May 11, 1962	21.57-22.50 hr.	Tycho 43° S., 10° W.	30	22	1.42	0.16	1.88
	22.54-23.15 hr.	Longomontanus 50° S., 20° W.	16	17	1.52	0.19	2.32

The experiments, conducted at Lexington, Massachusetts, on May 9, 10 and 11, gave positive results as indicated in Table 1. Column 3 indicates the number of consecutive flashes utilized; column 5 is the average number of photoelectrons due to noise in a 0.5-msec. interval column; 6 is the standard deviation of the noise count; column 7 is the average count in the 0.5-msec. interval where an echo was expected. The expected time delay of the signal was computed from ephemeris data and the position of the illuminated area on the Moon. Column 4 gives the number of range-intervals per trace used to obtain the data in columns 5 and 6.

I thank J. Daley, jun., of Lincoln Laboratory, for help in setting up and operating the telescopes, and G. Hardway and S. Kass, of the Raytheon Co., for help in the use of the maser. The work was supported in part by the U.S. Army Signal Corps, the Air Force Office of Scientific Research, and the Office of Naval Research.

LOUIS D. SMULLIN  
 GIORGIO FIOCCO

Research Laboratory of Electronics,  
 Massachusetts Institute of Technology,  
 Cambridge, Mass.

few thousandths of a wave number. The results are Q(1) = 4,155-243, S(0) = 4,497-830, S(1) = 4,712-895 and S(2) = 4,916-990 all expressed in wave numbers *in vacuo*.

The intensities of the quadrupole lines have been observed to depend only on the mass of gas in the absorbing path (pressure independent). We have been unable to see any pressure shift or appreciable pressure broadening in the pressure-range of 1-12 atmospheres. The quadrupole lines are exquisitely sharp. The breadth of the lines closely approaches the breadth expected from the Doppler effect.

Probably the most surprising feature of the 1-0 quadrupole spectrum is its relatively high intensity. The intensities of the lines is 10-100 times as great as might be expected from the observations of Herzberg<sup>4</sup> on the overtones and the calculations of James and Coolidge<sup>5</sup>. We have been able easily to observe S(1) with atmospheric pressure and an optical path of less than 100 metres.

In addition to the quadrupole spectrum we have also observed the induced dipole spectrum, which consists of extremely broad features underlying the quadrupole spectrum. The intensity of the dipole spectrum has been observed by Hare and Welsh<sup>6</sup> to depend on the square of the pressure. We have been able to verify this last observation. Furthermore, at



### Detection of Scattering Layers in the Upper Atmosphere (60–140 km) by Optical Radar

This communication reports observations made by us of optical echoes from atmospheric constituents (presumably dust) at heights of 60–140 km. They were detected with an optical radar. The techniques utilized are a development of those already reported by us<sup>1,2</sup>.

The optical radar consists of an RCA-designed ruby laser delivering short pulses of approximately 50 nsec, 0.5 joule at  $\lambda = 6,940 \text{ \AA}$ ; of a transmitting refracting telescope of 7.5-cm diameter and 201-cm focal length; of a receiving reflecting telescope of 32-cm diameter and 270-cm focal length, and of a photometer utilizing a 20- $\text{\AA}$  wide interference filter and a cooled EMI 9,558 A photomultiplier. The two telescopes are accurately boresighted and rigidly connected on an equatorial mount. All observations reported here were made with the telescopes looking at the zenith. Each time that the laser was fired the return signals picked up by the photomultiplier were displayed on an oscilloscope and photographed. The return signals originating above 30 km were so weak that it was possible to count individual photoelectrons in each 10-km (66- $\mu\text{sec}$ ) interval up to 180 km. These experiments were carried out during the months of June and July 1963 at Lexington, Massachusetts. They show the Rayleigh molecular scattering at heights up to 50–60 km. At greater heights—up to 140 km—very weak echoes were detected which we ascribe to dust clouds. These latter echoes appear to come from two main regions: 60–90 km (often about 80 km) and 110–140 km (often about 120 km).

Fig. 1 shows the results of the observations of four consecutive days, July 28–31. This interval covers the period of the  $\delta$ -Aquarids meteor shower. The sums of the photoelectrons obtained in successive 10-km range intervals are displayed for each night. The large initial counts, resulting from molecular Rayleigh scattering, permit an independent calibration of the apparatus. The noise-level, which is represented by photomultiplier dark current and sky background, is established by taking the average of the returns in the interval 140–180 km. Independent noise measurements taken between laser firings were in

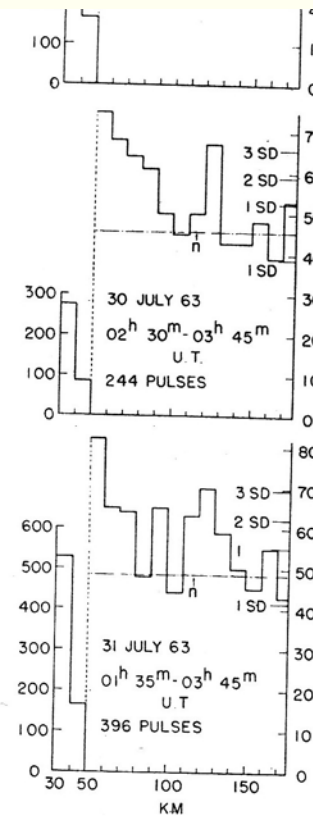


Fig. 1. Accumulated photoelectron counts in 10-km range intervals for July 28–31, 1963;  $n$  is the average noise-level

substantial agreement with those taken from the extreme ranges. Since the noise has the character of a Poisson process, the standard deviation is taken to be  $\sqrt{n}$ , where  $n$  is the average noise-level count per range-interval; note that the peaks obtained on July 30 and 31 exceed the average noise-level by more than 3 times the standard deviation.

Many similar sets of data have been collected that show similar behaviour. Table 1 was compiled after a pre-





Table 1. OCCURRENCE OF ECHOES ON NINE NIGHTS OF OBSERVATION

U.T. (1963)	Range (km)									
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
July 17				X			X	X		
July 24		X								
July 25			X	X						
July 26		X					X			
July 27										
July 28										
July 29								X		
July 30								X		
July 31										

liminary analysis of 9 days of observation. The X's show the occurrence of peaks exceeding the average noise-level by a factor of  $3\sqrt{n}$ . The echoes obtained on July 31 correspond to a backscattering differential cross-section per unit volume (averaged between 120 and 130 km) of  $2 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^{-1} \text{ steradians}^{-1}$ .

In the absence of independent methods of observation we cannot say what causes these echoes. However, one is tempted to compare the lower echoes ( $\sim 80 \text{ km}$ ) with the observed heights of noctilucent clouds. It has been speculated that more distant echoes ( $\sim 120 \text{ km}$ ) correspond to the region of meteoric break-up.

The assistance of F. W. Barrows, H. B. Gay, G. A. Garosi, and G. S. Misail in the construction of the apparatus and of H. C. McClees in the conduct of the experiment is gratefully acknowledged. We thank Prof. A. H. Barrett for many helpful discussions. This work was supported in part by the U.S. Army, the Air Force Office of Scientific Research, and the Office of Naval Research; and in part by the National Aeronautics and Space Administration (Grant NsG-419).

G. FIOCCO  
L. D. SMULLIN

Department of Geology and Geophysics,  
 Department of Electrical Engineering and  
 Research Laboratory of Electronics,  
 Massachusetts Institute of Technology,  
 Cambridge, Mass.

<sup>1</sup> Smullin, L. D., and Fiocco, G., *Nature*, **194**, 1267 (1962); *Proc. Inst. Radio Eng.*, **50**, 1703 (1962).

<sup>2</sup> Fiocco, G., and Thompson, E., *Phys. Rev. Letters*, **10**, 89 (1963).

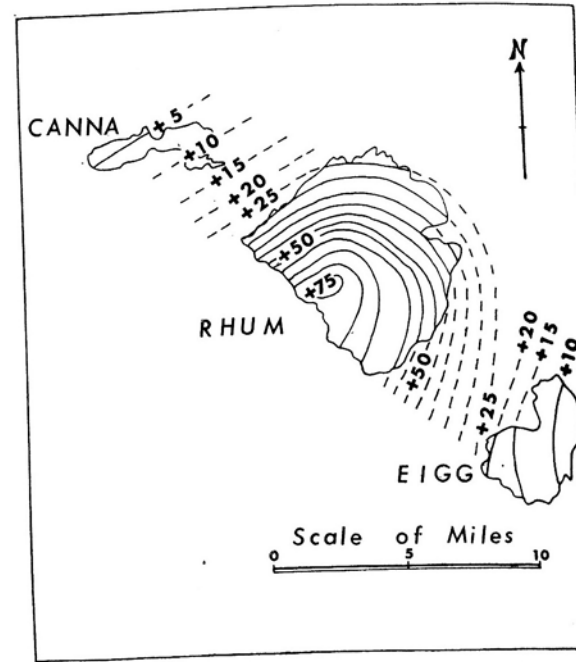


Fig. 1. Bouguer anomaly map of the Islands of Rhum, Eigg, Canna and Sanday in the Inner Hebrides. Contour interval, 5 milligals

Western Isles, and the assumption of a background value of 10 milligals leaves a positive anomaly of 65–70 milligals which requires explanation.

The origin of the anomaly can be interpreted in physical terms by calculating the dimensions and specific gravities of simple models of the gravitating mass and so obtaining a range of theoretical structures capable of producing the observed anomaly. The space form deduced in this way must not only satisfy the numerical characteristics of the anomaly, but must also be consistent with what is definitely known of the geological structure in the area.

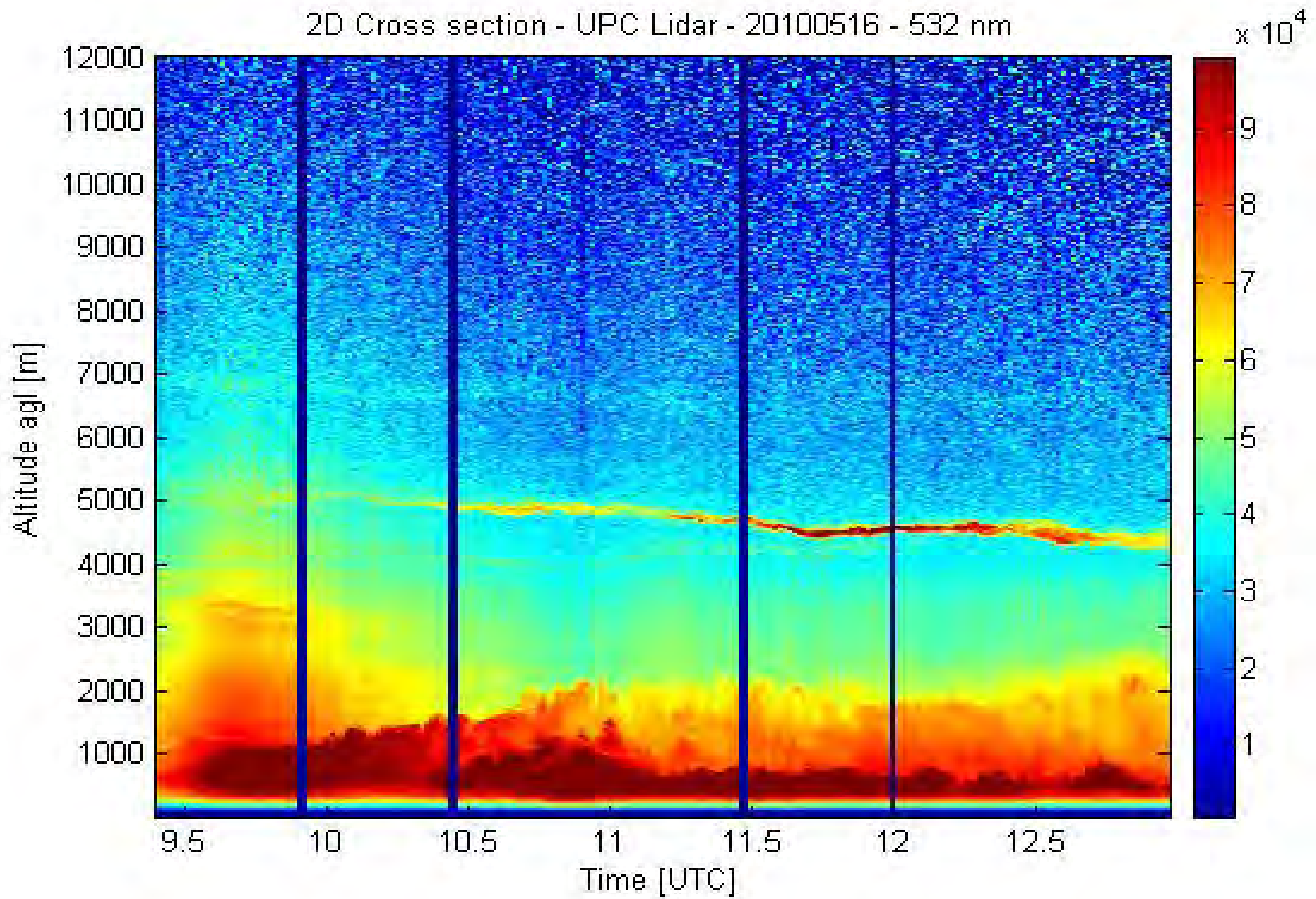
As a first step it can be shown, by using the formula for a point mass, that the anomalous mass has a near surface



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



2D Cross section - UPC Lidar - 20100516 - 532 nm





# Radar làser

**LIDAR: Light Detection And Ranging**

**Part de l'espectre electromagnètic de longituds d'ona en el marge visible o més o menys proper (típicament entre 0.2  $\mu\text{m}$  i 11  $\mu\text{m}$ )**

**També: \* Radar Làser  
\* LADAR**

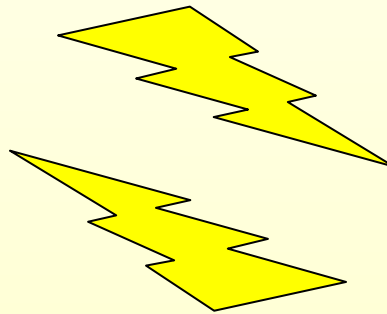


Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# TELEDETECCIÓ LIDAR DE L'ATMOSFERA

**Fotònica, electrònica i tecnologies de la informació  
per sondejar el medi ambient, el clima i el temps  
meteorològic**





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



- **Què és un lidar** ✓
- **Com està fet**
- **Què pot detectar**





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



**Pregunta: per què utilitzar longituds d'ona òptiques per al sondeig de l'atmosfera?**

**Resposta: Forta interacció amb partícules en suspensió i constituents atmosfèrics**



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



**Pregunta: per què utilitzar longituds d'ona òptiques per al sondeig de l'atmosfera?**

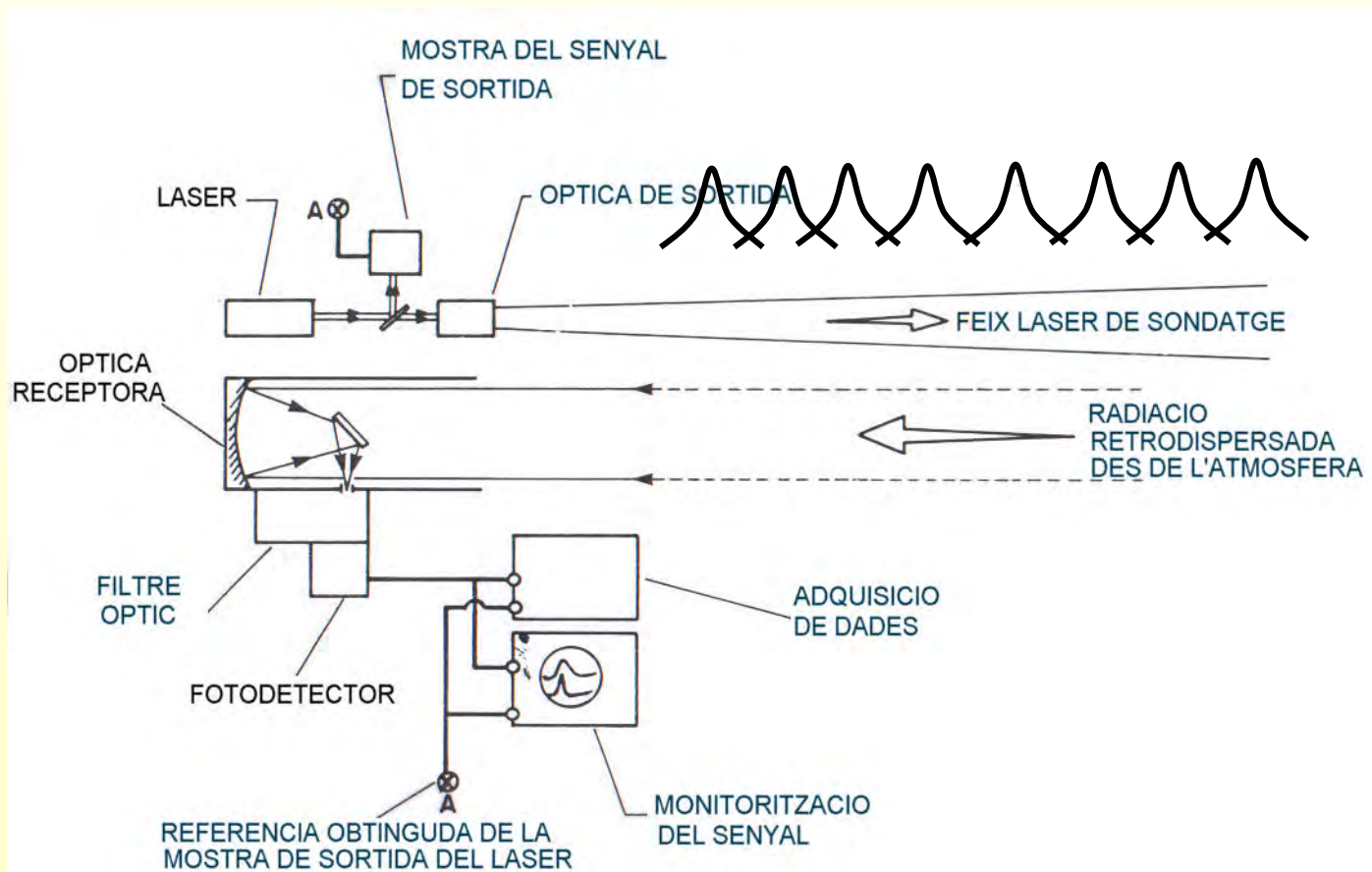
**Respo  
consti**



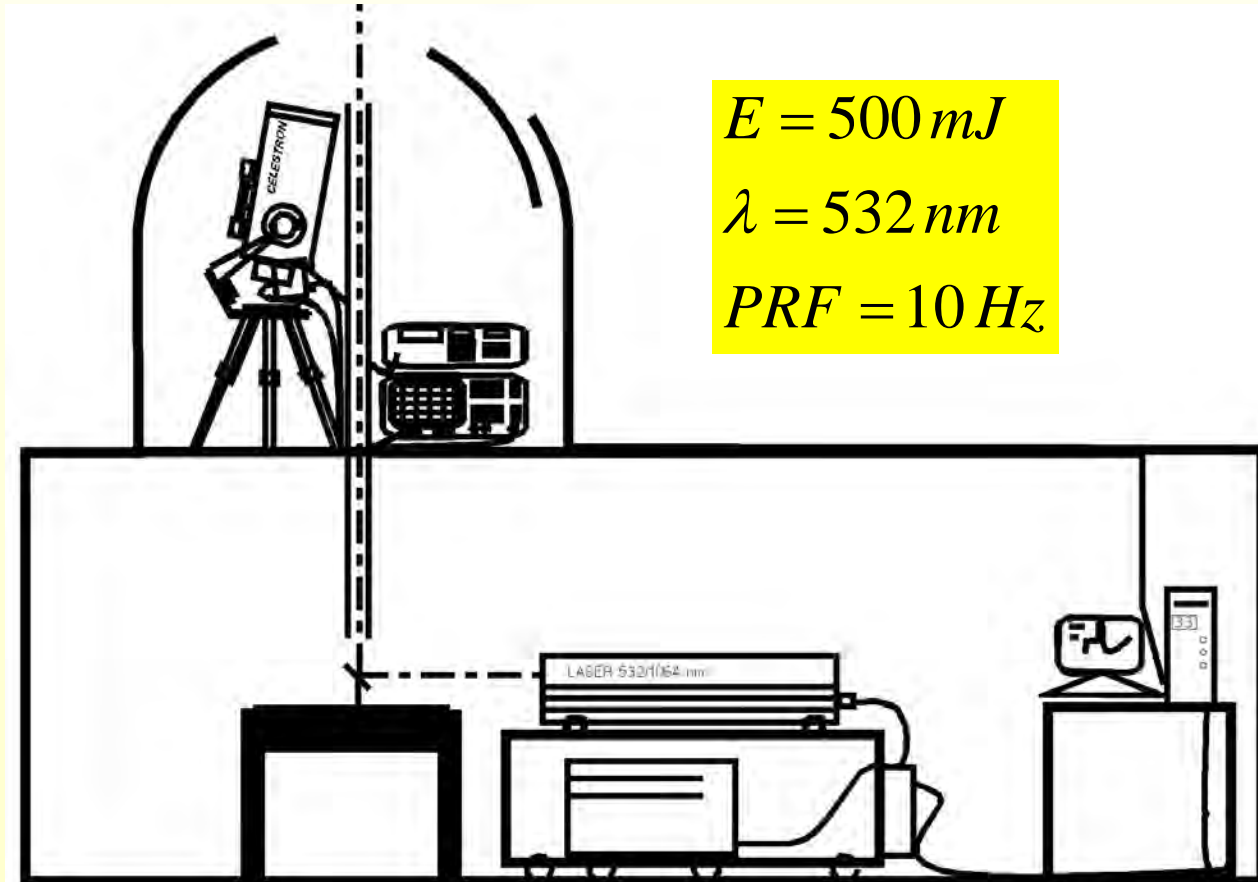
**en suspensió i**



# Configuració bàsica d'un sistema lidar



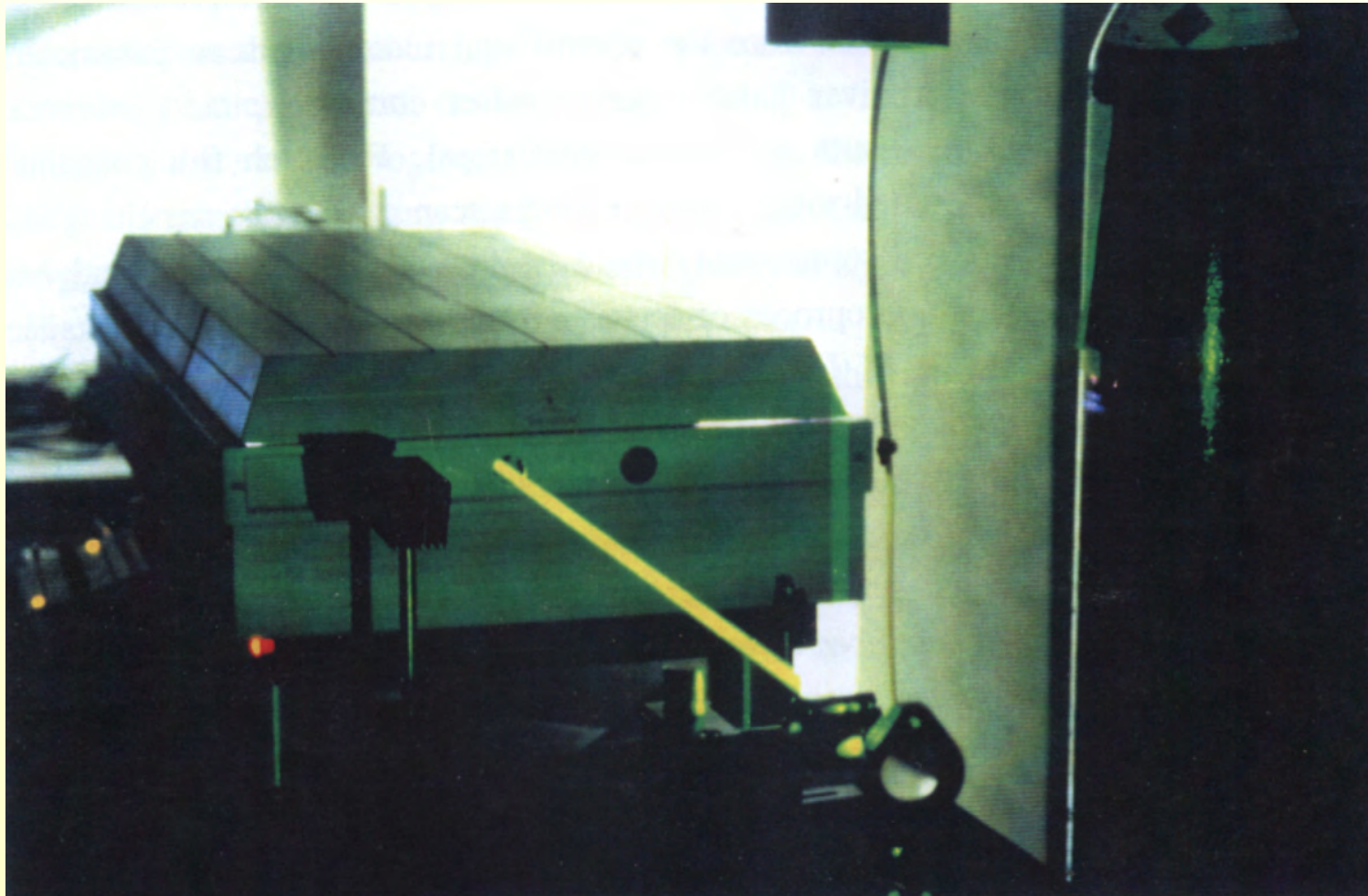
Adaptat de R. M. Measures: "Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications". John Wiley & Sons, 1984







Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions





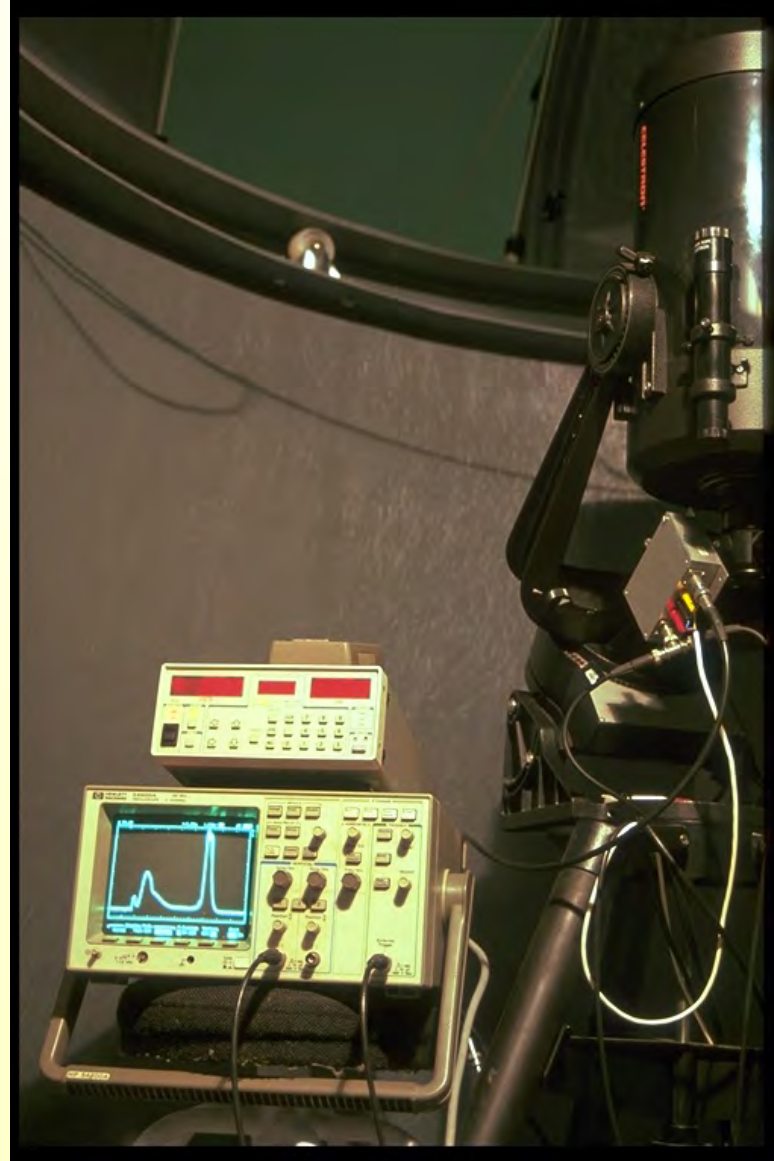
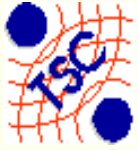
Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



15 de juliol de 2010 – Societat Catalana de Tecnologia – Institut d'Estudis Catalans



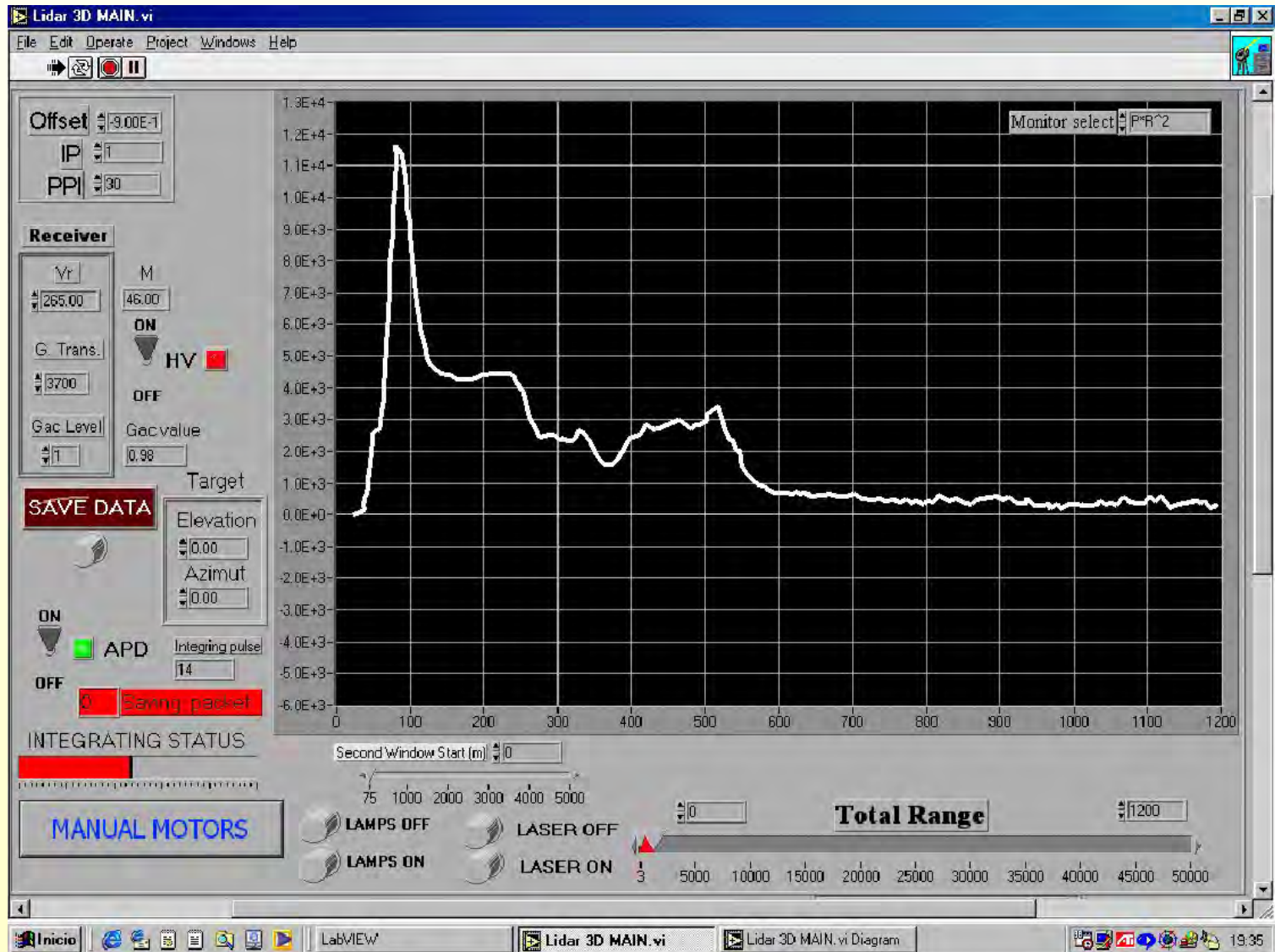
Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions







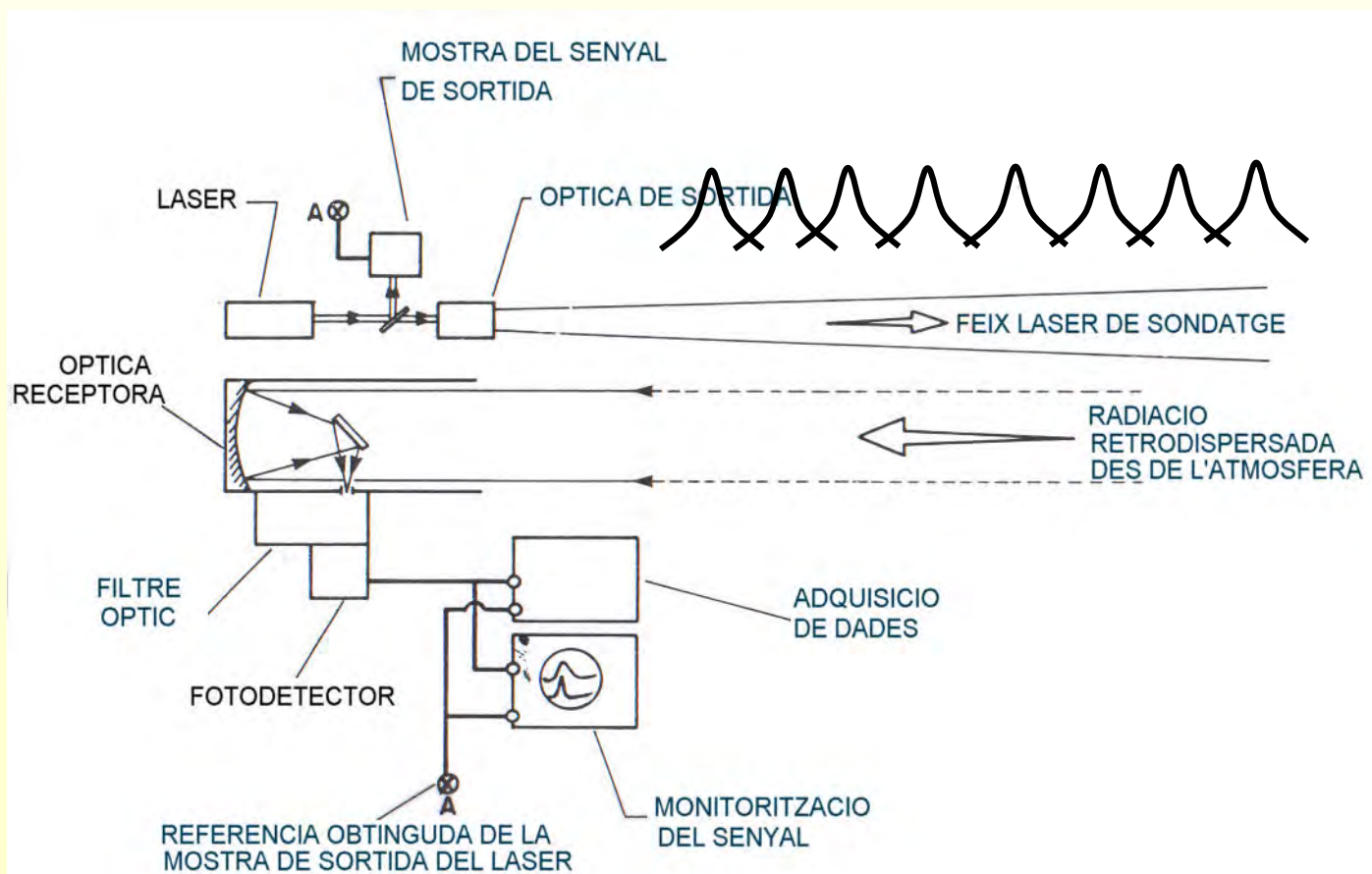
Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions







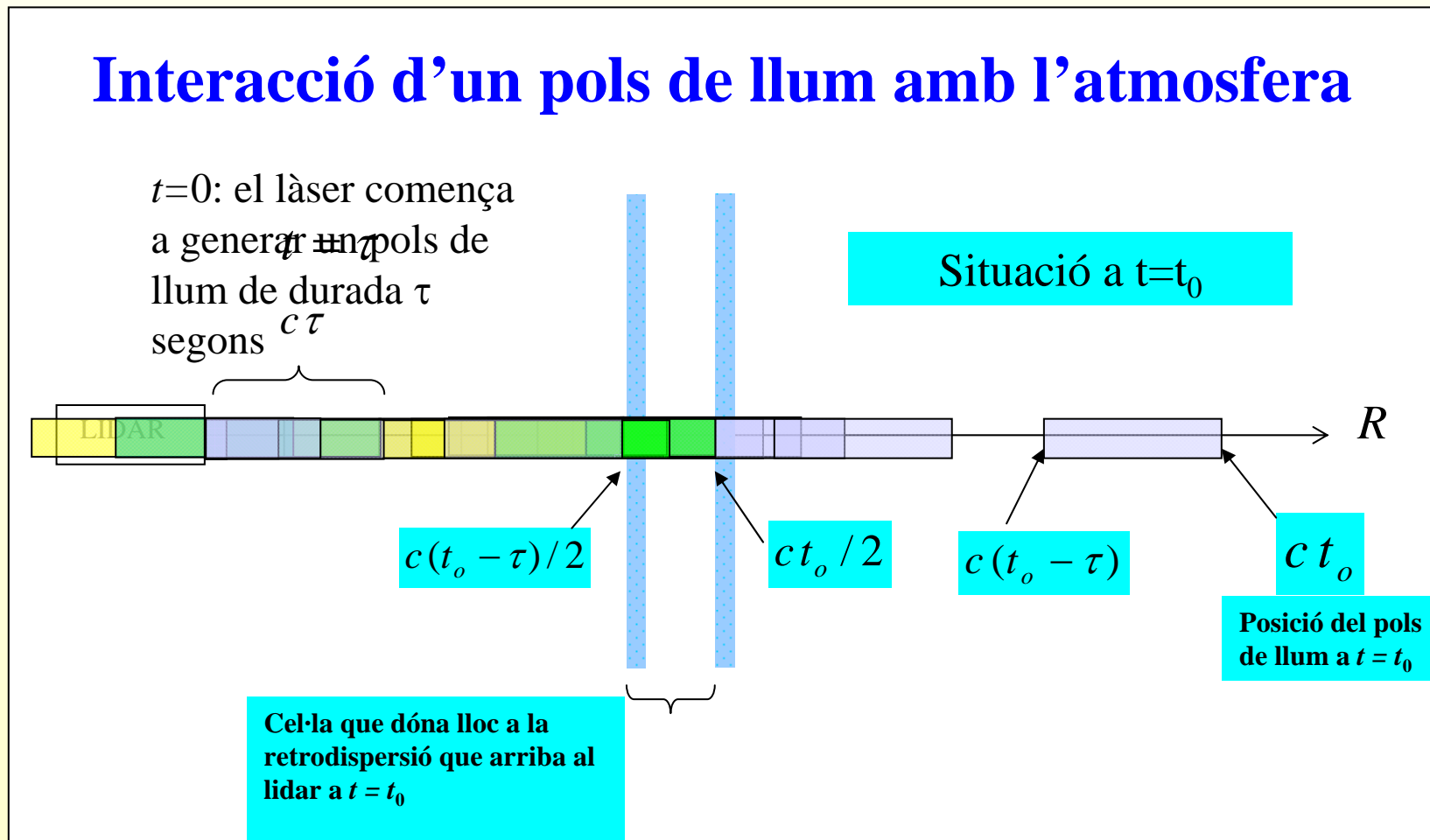
# Configuració bàsica d'un sistema lidar



Adaptat de R. M. Measures: "Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications". John Wiley & Sons, 1984



## Interacció d'un pols de llum amb l'atmosfera

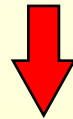




## Interacció d'un pols de llum amb l'atmosfera (equació del lidar)

### Exemple de resolució longitudinal:

**Làser de Nd:YAG ( $\lambda=1064$  nm) polsat per  
Q-switch:  $\tau \sim 10$  ns**



**$\Delta R \approx 1,5$  m**

**De fet, hi haurà altres limitacions (amplada de banda del receptor, freqüència de mostreig del sistema d'adquisició...)**

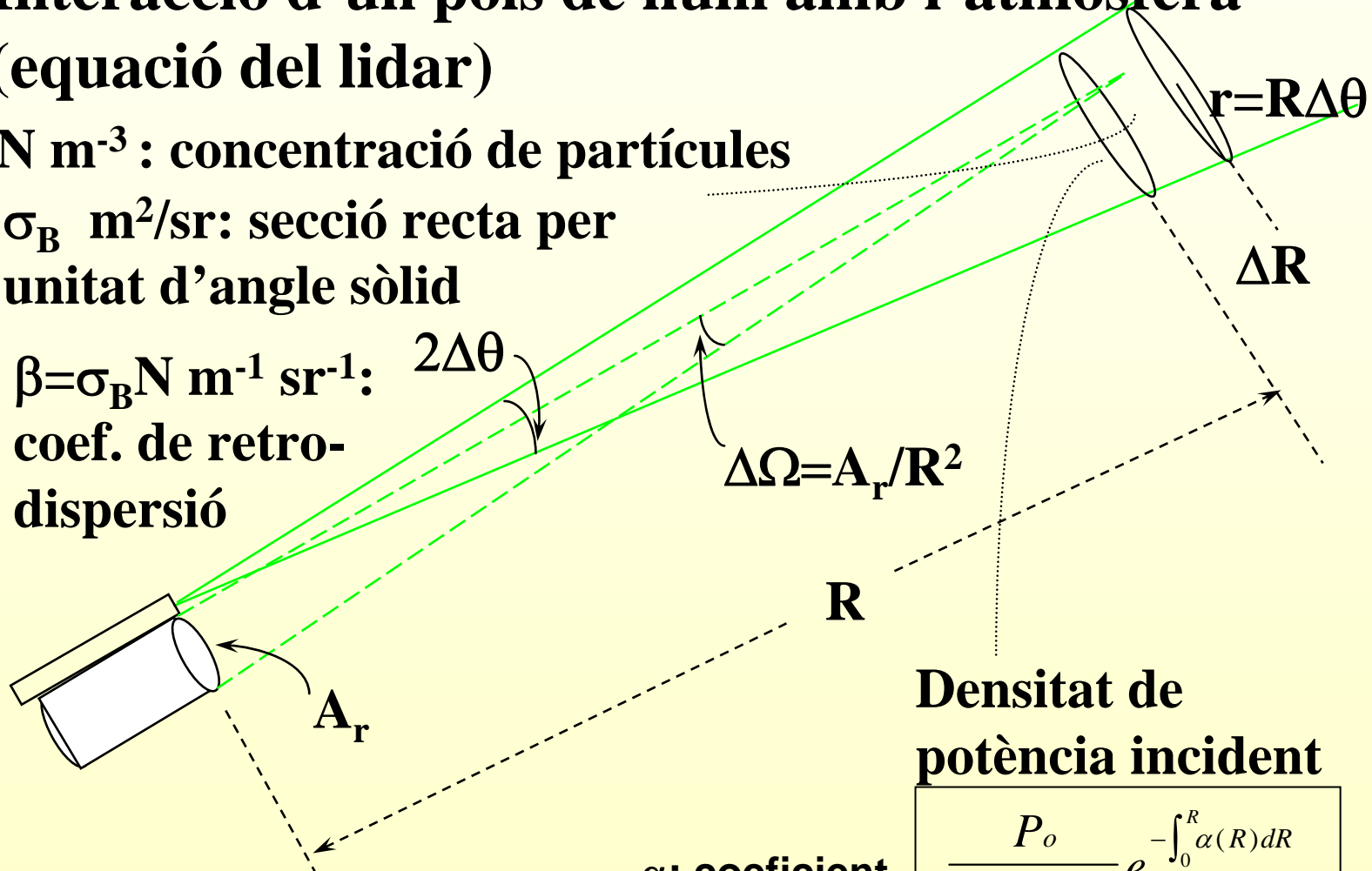


# Interacció d'un pols de llum amb l'atmosfera (equació del lidar)

$N \text{ m}^{-3}$  : concentració de partícules

$\sigma_B \text{ m}^2/\text{sr}$ : secció recta per unitat d'angle sòlid

$\beta = \sigma_B N \text{ m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ :  $2\Delta\theta$   
 coef. de retro-dispersió



Densitat de potència incident

$$\frac{P_o}{\pi R^2 \Delta^2 \theta} e^{-\int_0^R \alpha(R) dR}$$

$\alpha$ : coeficient d'extinció





# Interacció d'un pols de llum amb l'atmosfera (equació del lidar)

Potència emesa pel làser en l'interval  $\tau$ :  $P_0$

Densitat de

potència incident sobre cel·la de resolució

$$\frac{P_0}{\pi R^2 \Delta^2 \theta} e^{-\int_0^R \alpha(x) dx}$$

Potència dispersada des de cel·la de resolució per unitat

D'angle sòlid:

$$P_0 \beta(R) e^{-\int_0^R \alpha(x) dx} \Delta R = P_0 \beta(R) e^{-\int_0^R \alpha(x) dx} \frac{c \tau}{2}$$

Potència recollida pel telescopi procedent de la cel·la de resolució:

$$P(R) = \frac{P_0 A_r c \tau}{2 R^2} \beta(R) e^{-2 \int_0^R \alpha(x) dx} = \frac{E A_r c}{2 R^2} \beta(R) e^{-2 \int_0^R \alpha(x) dx}$$

Senyal "corregit en distància"

$$P(R) R^2 \propto \beta(R) e^{-2 \int_0^R \alpha(x) dx}$$



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# La informació sobre l'atmosfera està continguda en els coeficients òptics de retrodispersió, $\beta(R)$ , i d'extinció, $\alpha(R)$



## Exemple: càlculs simplificats de potència rebuda

**Emissor: làser Nd: YAG amb freqüència doblada**

**$\lambda = 532 \text{ nm}$   $E=0.5 \text{ J}$**

**Receptor: telescopi de 20 cm de diàmetre  $A_r=0.03 \text{ m}^2$**

**Atmosfera:  $\alpha=0.2 \text{ km}^{-1}$   $\beta=8 \times 10^{-3} \text{ km}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  (cel clar)**

**@ 1 km  $P_r=12 \text{ } \mu\text{W}$**

**@ 10 km  $P_r=3 \text{ nW}$**

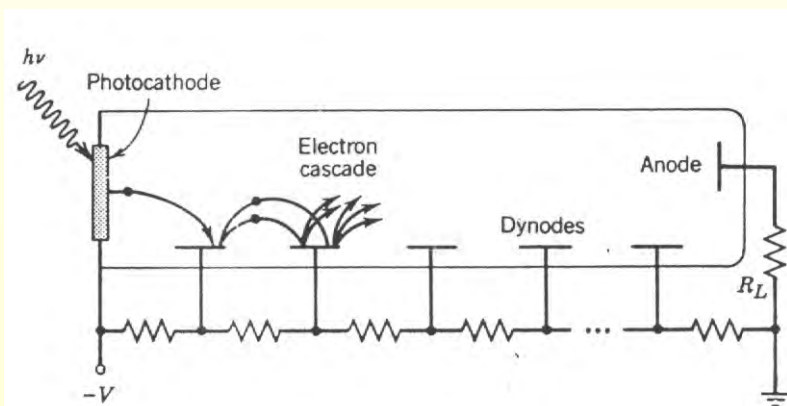
**Atmosfera:  $\alpha=1 \text{ km}^{-1}$   $\beta=10^{-2} \text{ km}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  (boirina)**

**@ 1 km  $P_r=3 \text{ } \mu\text{W}$**

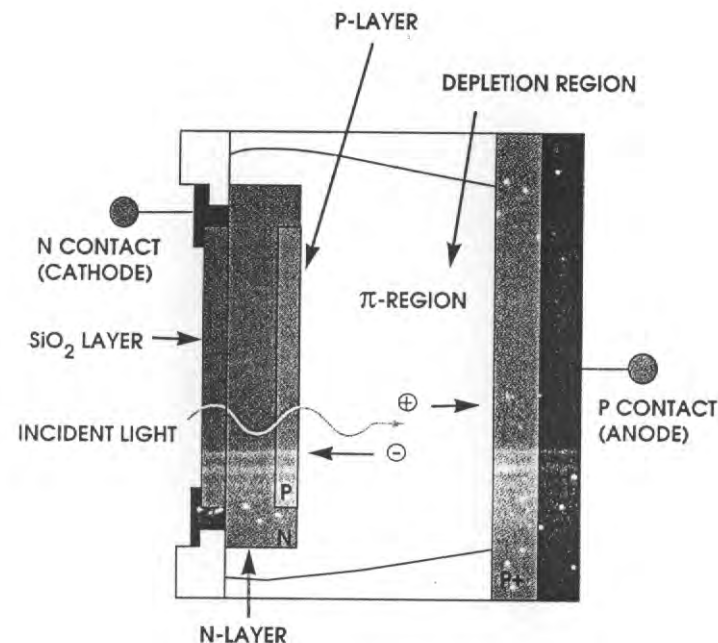
**@ 10 km  $P_r=0.5 \text{ fW}$**



## DETECTORS



**Tub fotomultiplicador (PMT) – visible i UV**



**Fotodiode d'allau (avalanche photodiode (APD)) - infraroig**

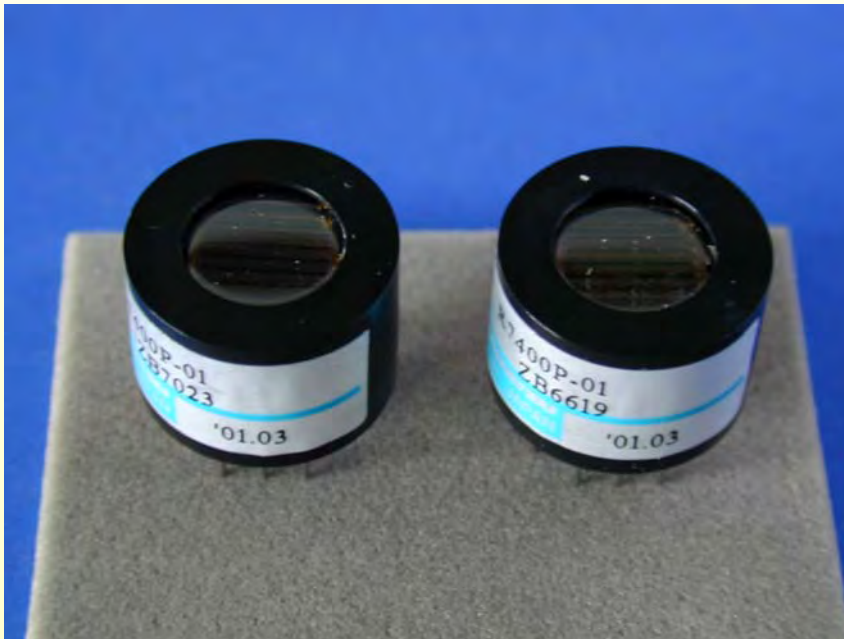




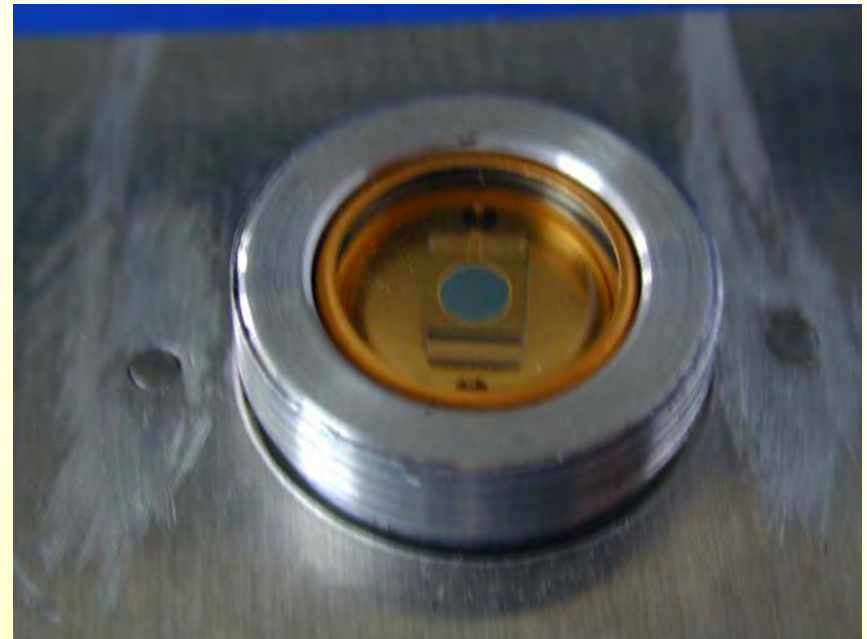
Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# DETECTORS



**PMT**

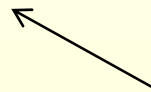


**APD**



## TIPUS DE LIDAR PER A SONDEIG DE L'ATMOSFERA

- **Elàstic (retrodispersió Mie i Rayleigh, mateixa  $\lambda$  en emissió i recepció)**



**cas especial: lidar Doppler**

- **Absorció diferencial (DIAL)**
- **Fluorescència**
- **Raman**



**sondeig espectroscòpic**



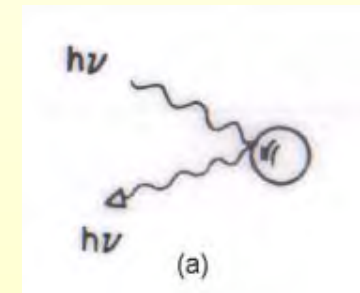
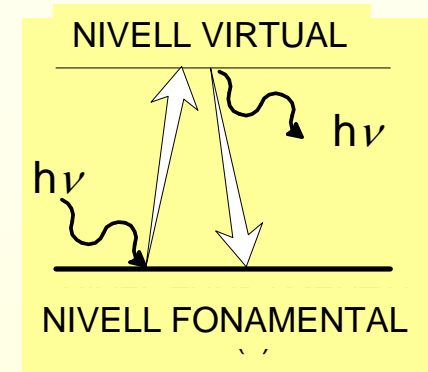
# LIDAR ELÀSTIC

## Mesures:

- **Directes:** Pols, núvols, fums ...
- **Indirectes:** fenòmens de transport, estratificació atmosfèrica, temperatura en l'alta atmosfera, velocitat de vents...

## Tipus de làser:

- **Rubí** ( $\lambda = 694.3 \text{ nm}, 347.2 \text{ nm}$ )
- **Nd:YAG** ( $\lambda = 1064 \text{ nm}, 532 \text{ nm}, 355 \text{ nm}$ )
- **Excímer** ( $\sim 350 \text{ nm}$ )



retrodispersió Mie

Figures adaptades de R. M. Measures: "Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications". John Wiley & Sons, 1984



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# Lidar per a la mesura d'aerosols



$E = 350 \text{ mJ}$   
 $\lambda = 1064 \text{ nm}$   
 $PRF = 20 \text{ Hz}$





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# Lidar per a la mesura d'aerosols



$E \approx 160mJ @ \lambda = 1064 nm$   
 $E \approx 160mJ @ \lambda = 532 nm$   
 $PRF = 20 Hz$





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



15 de juliol de 2010 – Societat Catalana de Tecnologia – Institut d'Estudis Catalans



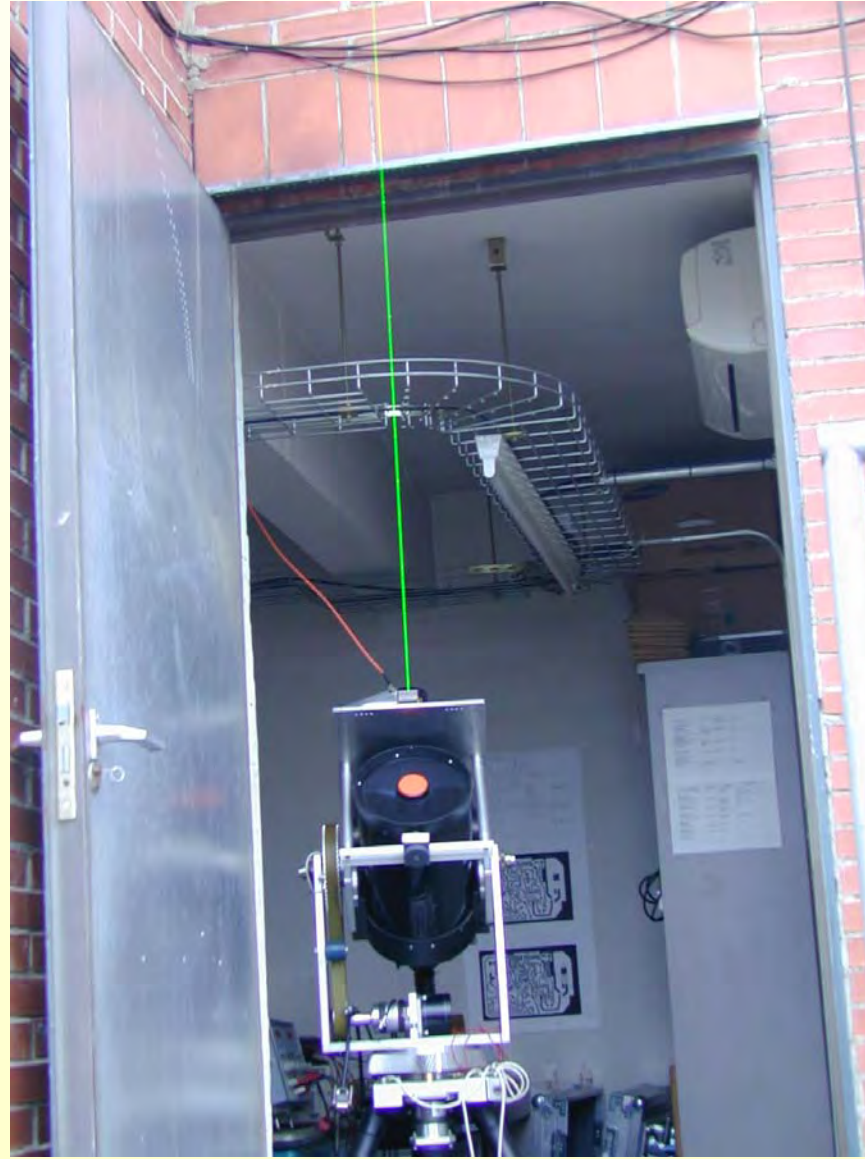
Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions







Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# Lidar per a la mesura d'aerosols



$E \approx 120mJ @ \lambda = 1064 nm$   
 $E \approx 100mJ @ \lambda = 532 nm$   
 $E \approx 80 mJ @ \lambda = 355 nm$   
 $PRF = 20 Hz$

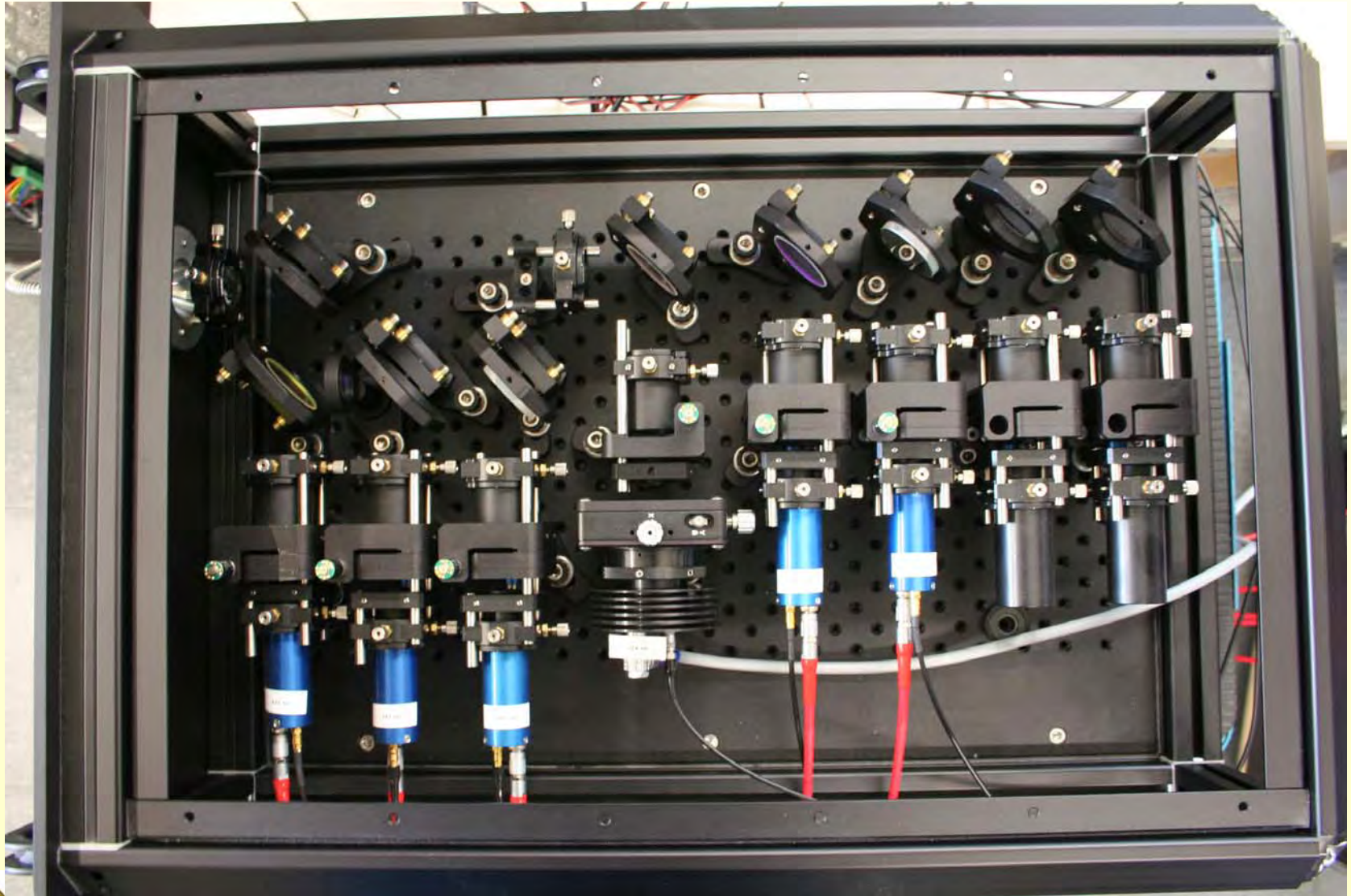




Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



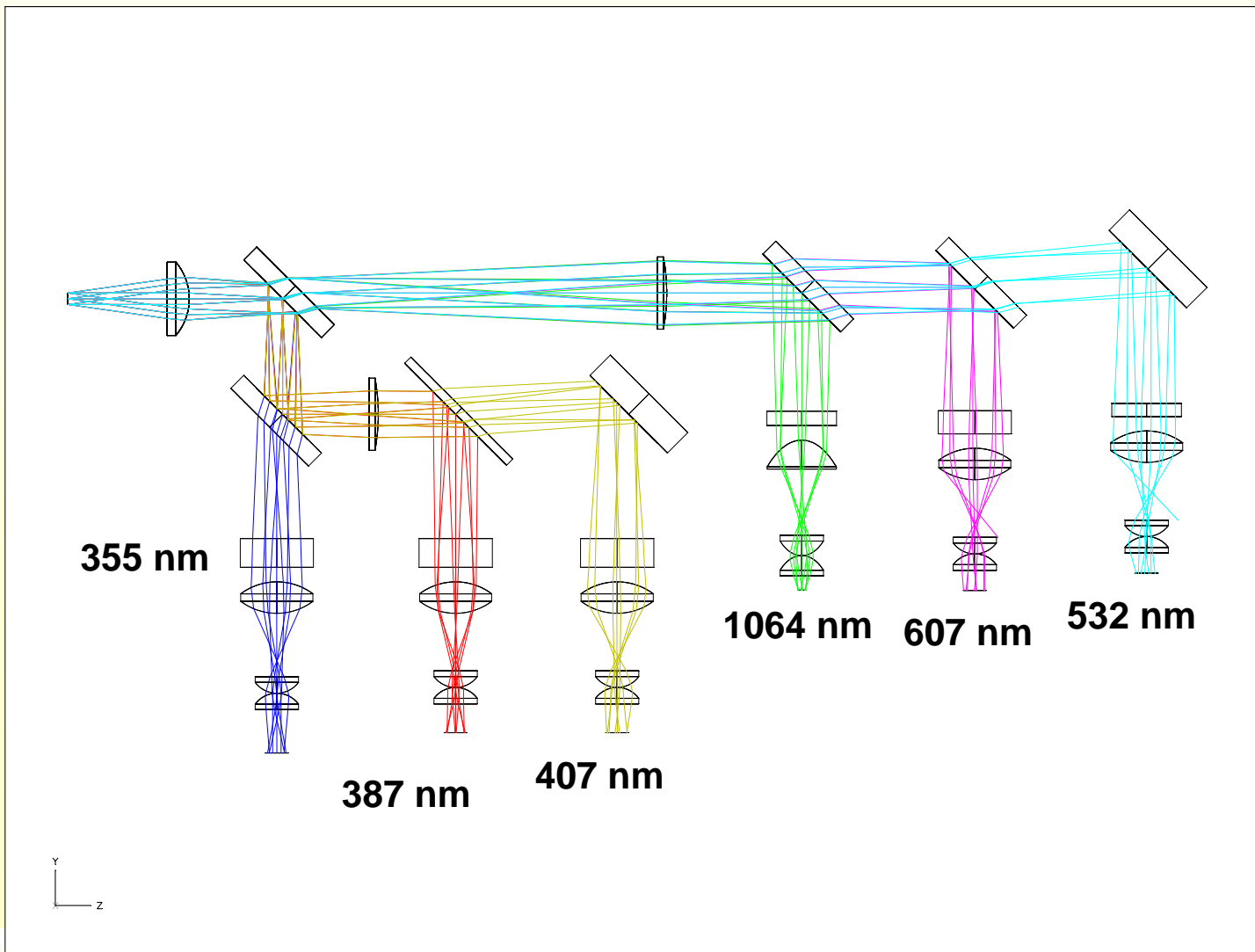
# Policromador







# Policromador





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



## Alimentació de fotoreceptors, control i adquisició





# Lidars multilongitud d'ona

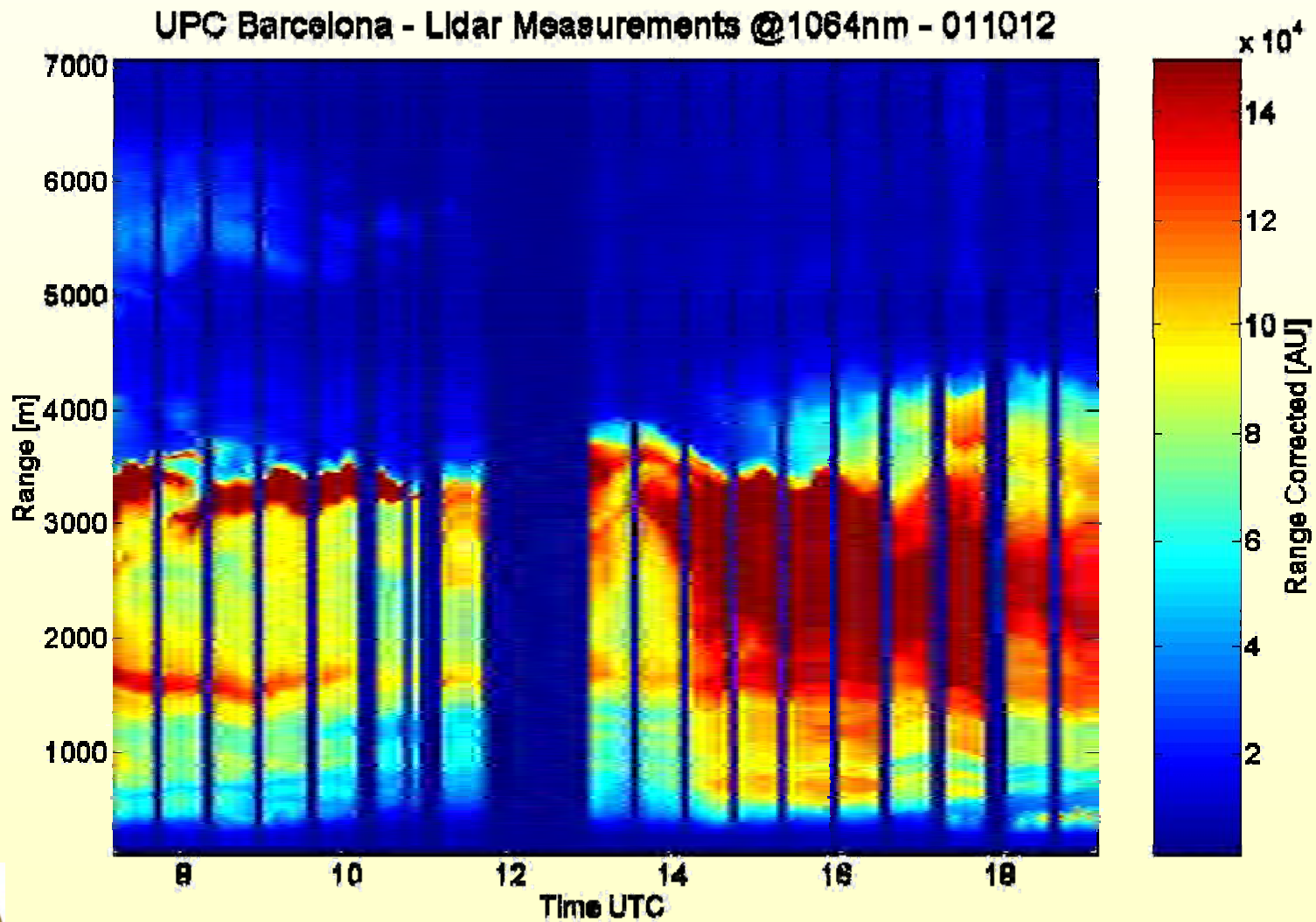
- **Objetiu:** determinar propietats microfísiques dels aerosols resoltes en distància a partir de mesures dels coeficients òptics (extinció i retrodispersió) a diverses longituds d'ona
- **Requisits mínims:** 2 coeficients d'extinció (per exemple a 355 nm i 532 nm i 3 de retrodispersió (per exemple a 355 nm, 532 nm i 1064 nm) → standard de EARLINET
- **Despolarització** dóna informació sobre forma de les partícules



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



## Senyal "corregit en distància"

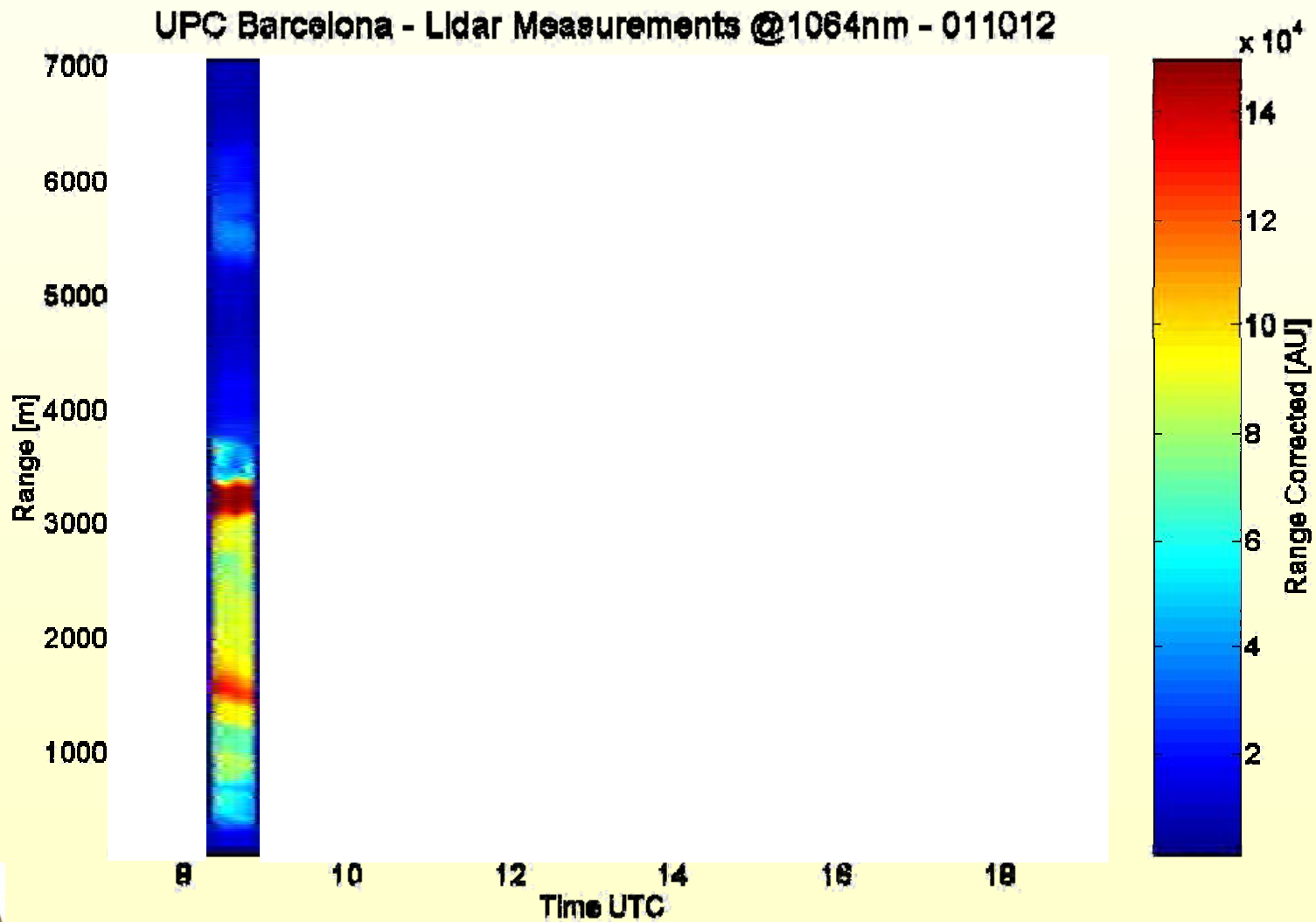




Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



## Senyal "corregit en distància"





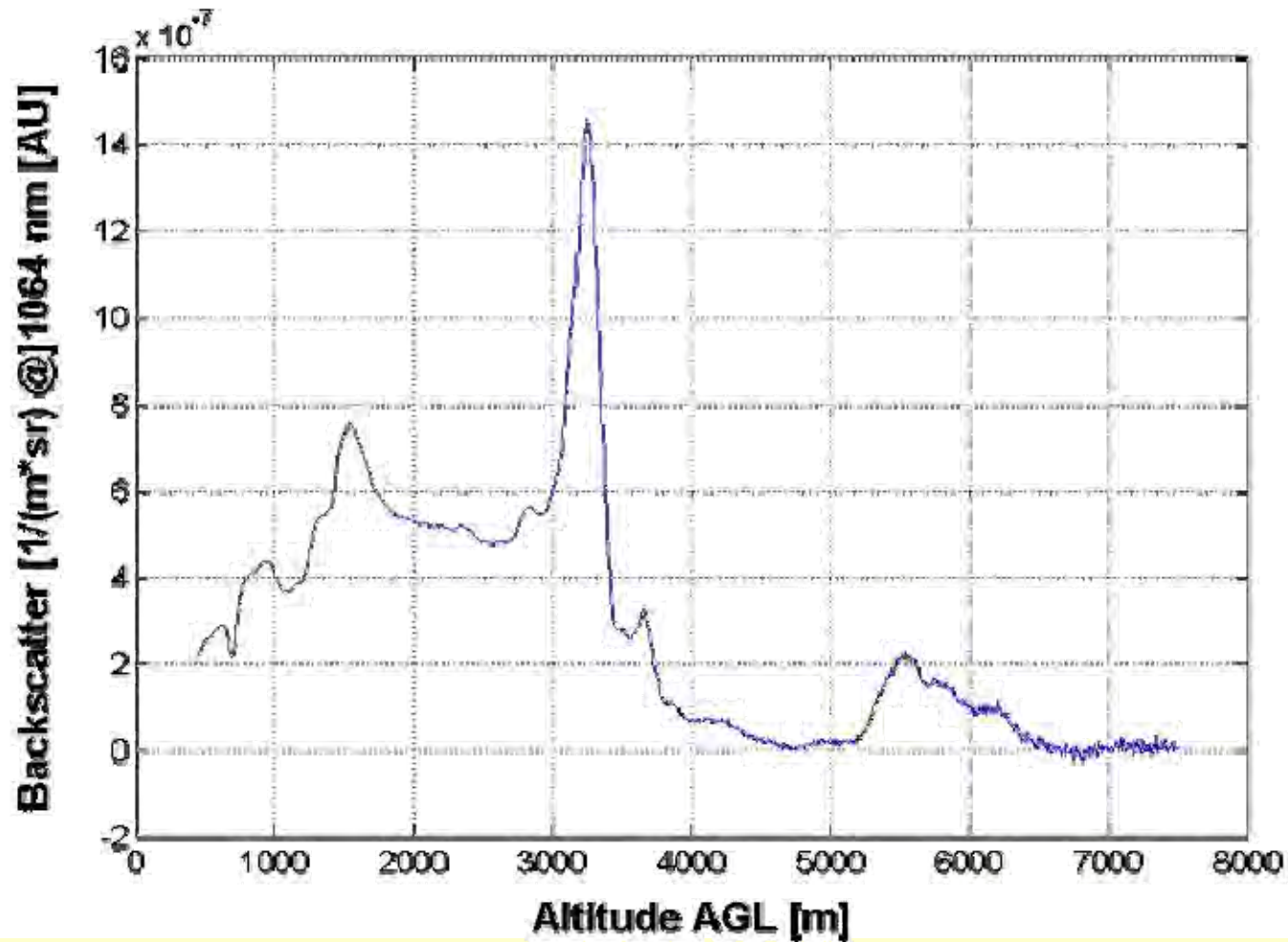


Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



## Coeficient de retrodispersió

UPC Barcelona Lidar - 20011012 from 08:23 to 08:53 UTC

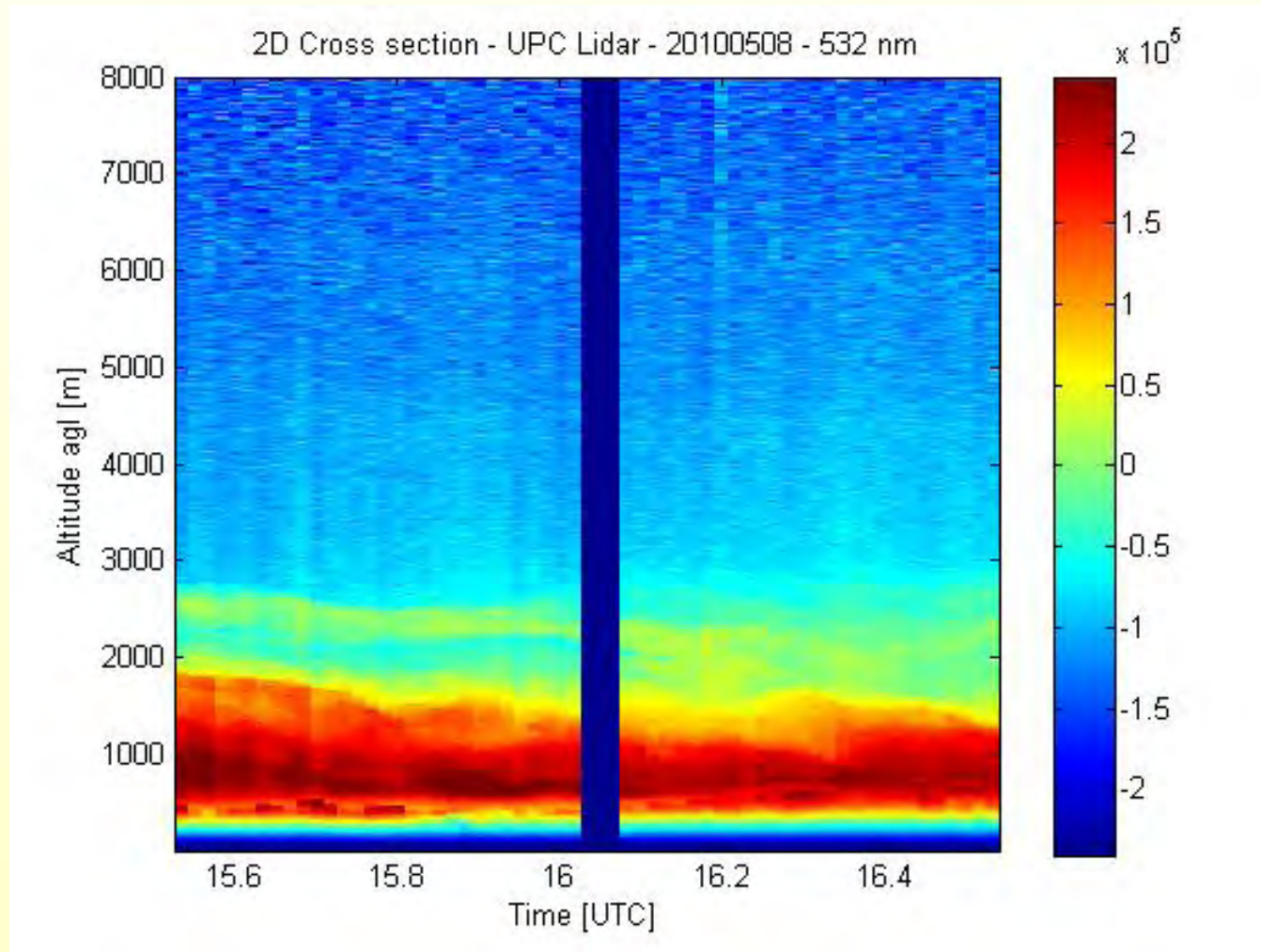




Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions

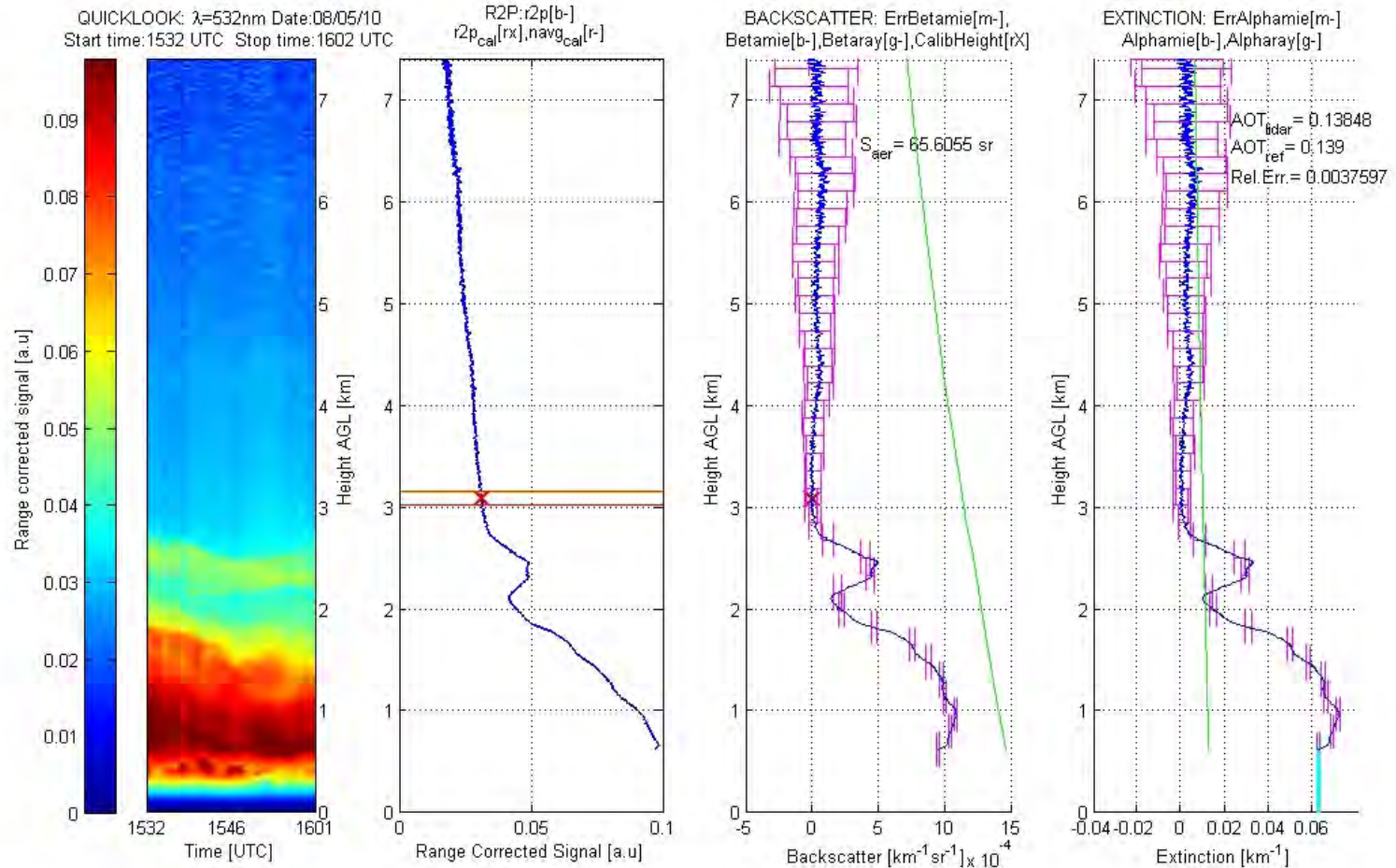


# Cendres del Eyafjallajökull





## Inversió de coeficients de retrodispersió i d'extinció constreta per mesura de fotòmetre solar



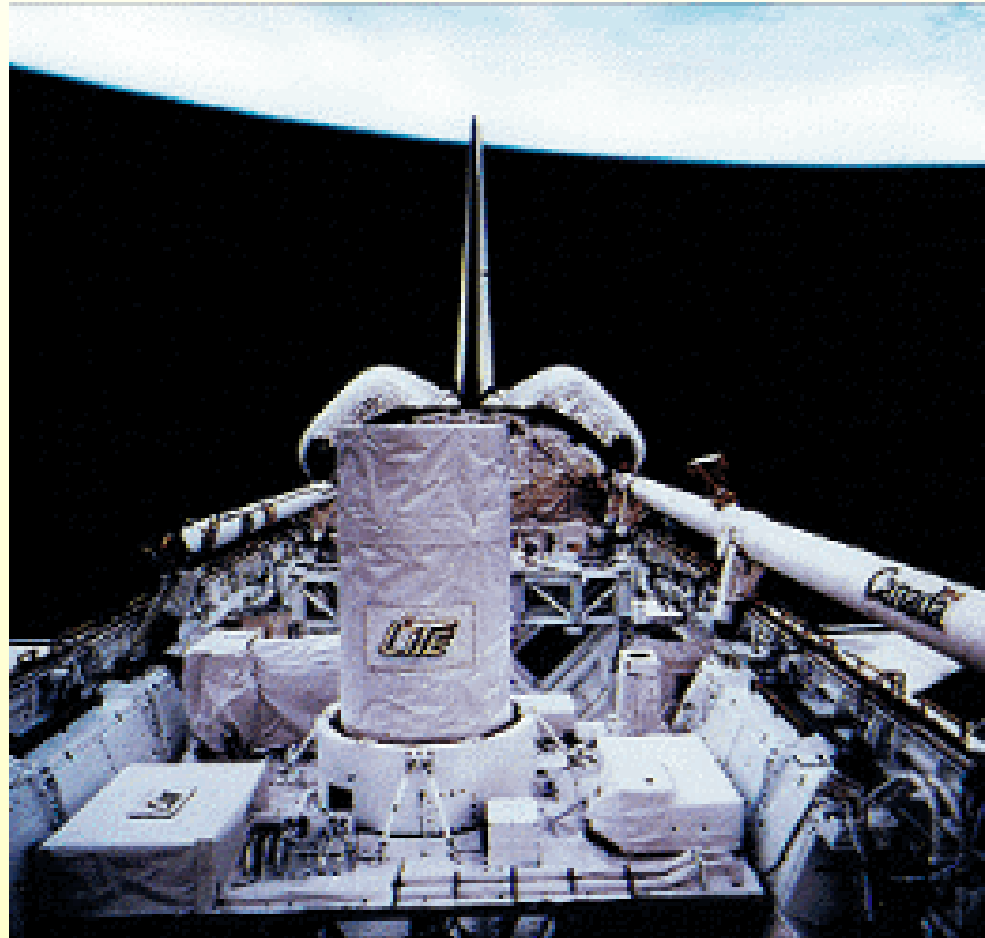


Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# Lidar In-space Technology Experiment (LITE)

Discovery, Setembre de 1994



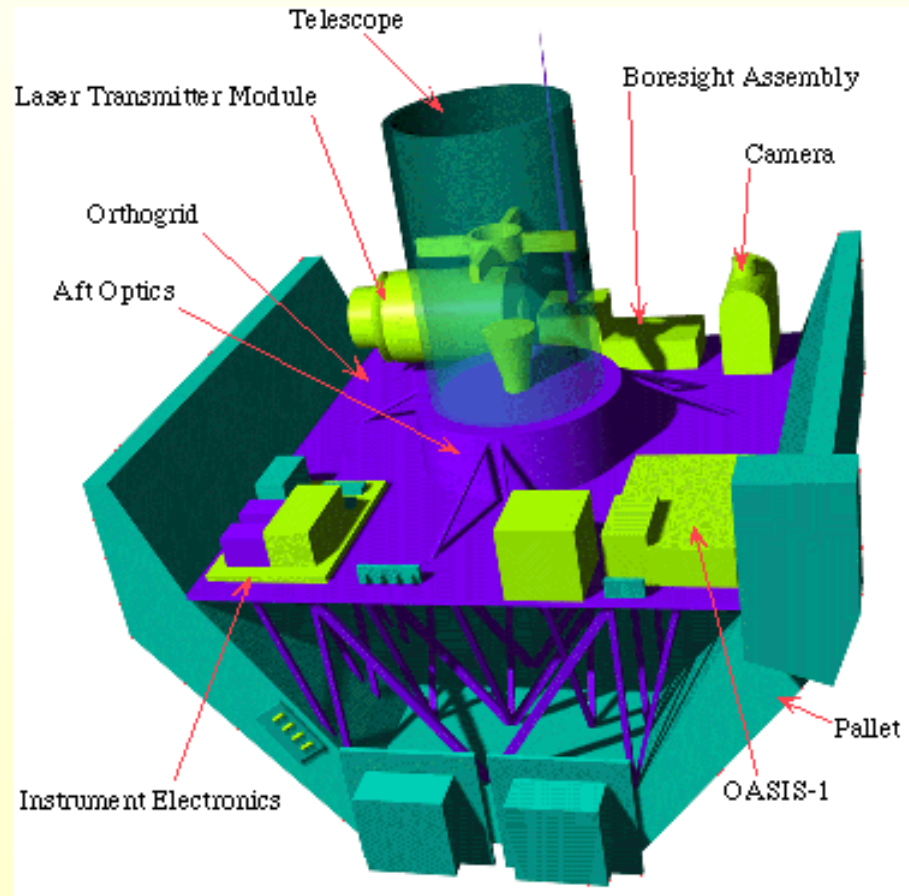
<http://www-lite.larc.nasa.gov/>

15 de juliol de 2010 – Societat Catalana de Tecnologia – Institut d'Estudis Catalans





# Lidar In-space Technology Experiment (LITE)



**Lidar elàstic basat en làser de Nd:YAG (1064, 532, 355 nm) (núvols i aerosols, densitat i temperatura a l'estratofera)**





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# CALIOP a bord de CALIPSO (NASA-CNES) (des d'abril de 2006)



© CNES - Juillet 2004 / illustration P.CARRIL



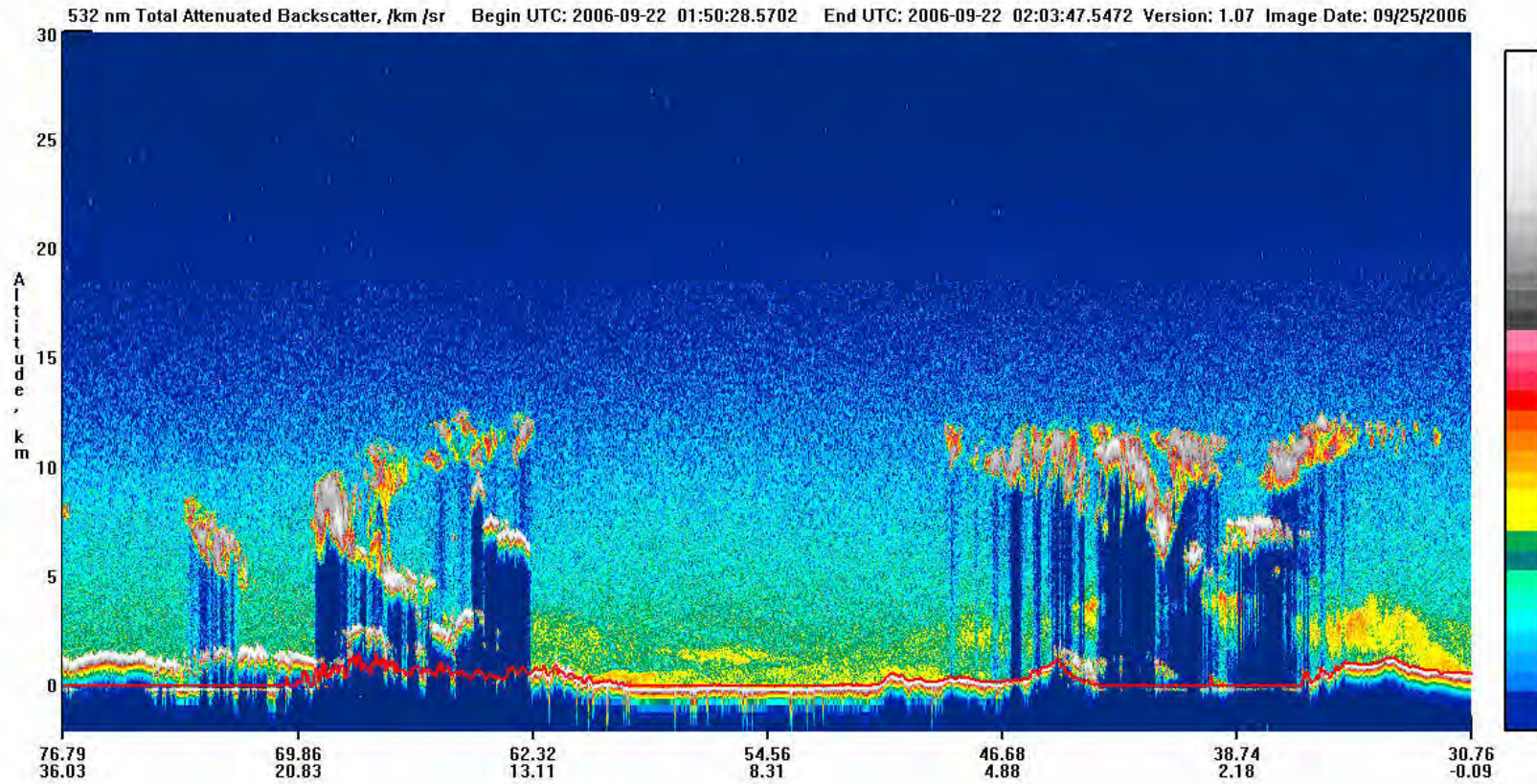
<http://www-calipso.larc.nasa.gov/about/payload.php>



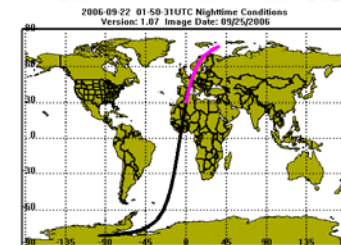
Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# CALIPSO – “attenuated backscatter”

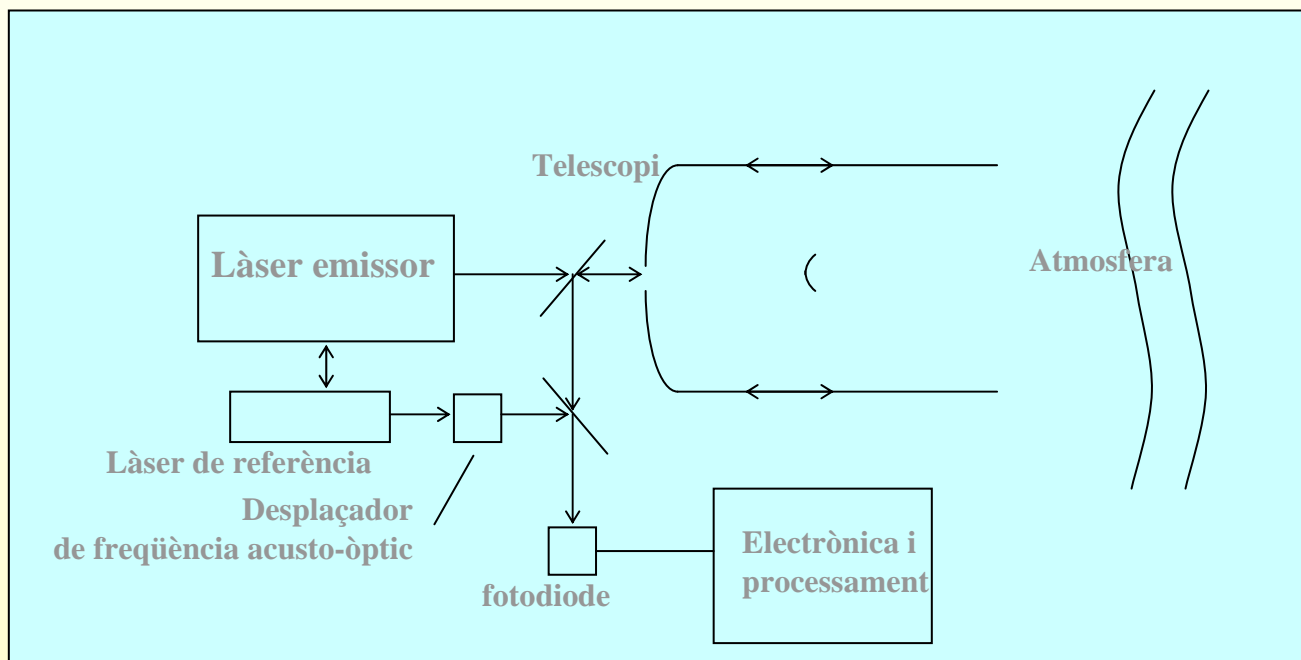


<http://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/>





# Lidar Doppler

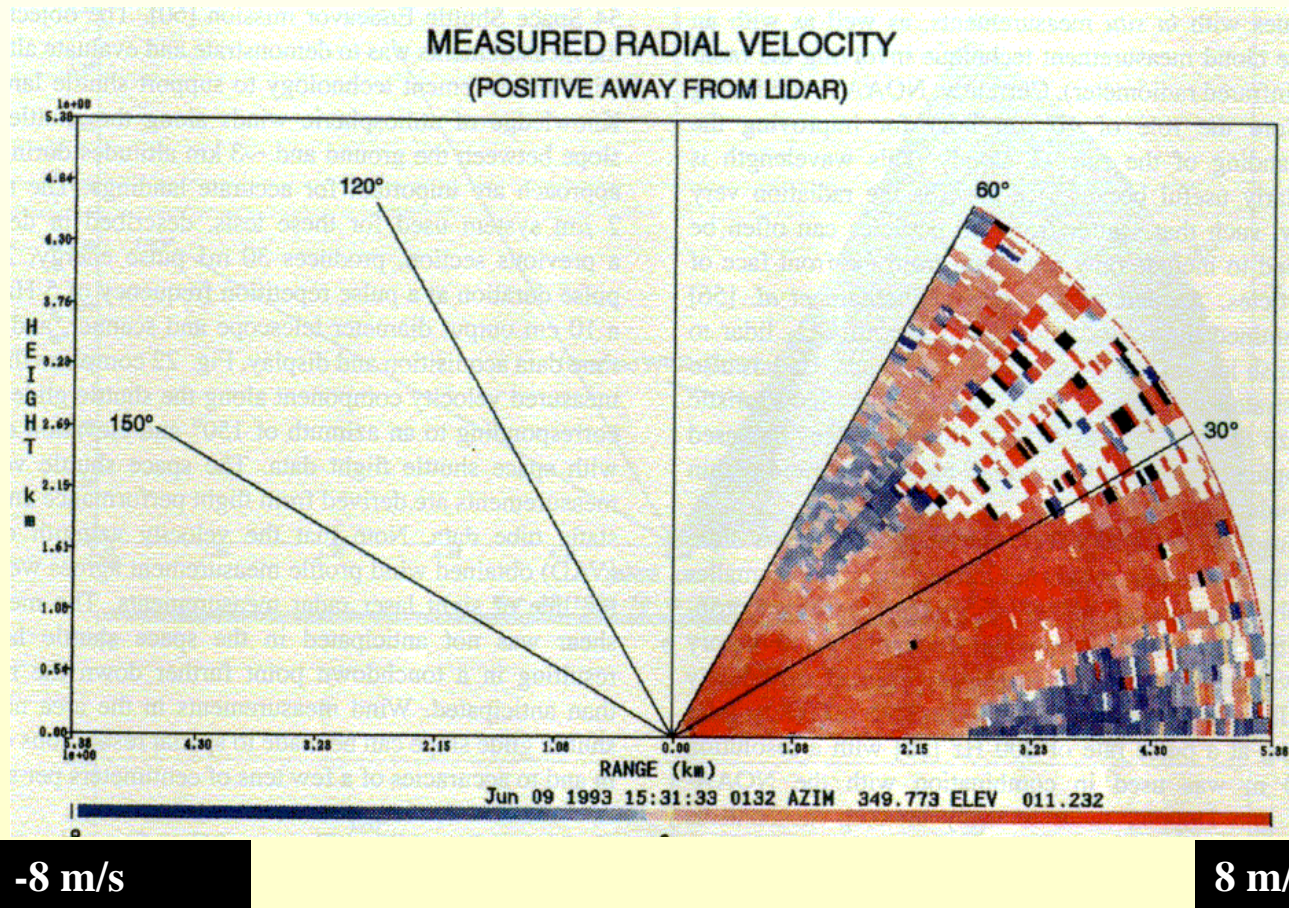






# Exemple de mesura amb lidar Doppler

Làser de Tm:YAG,  $\lambda = 2 \mu\text{m}$ , 9 mJ per pols,  
durada de pols: 165 ns



R. M. Huffaker, R. M. Hardesty, "Remote Sensing of Atmospheric Wind Velocities Using Solid-State and CO<sub>2</sub> coherent laser systems", Proc. IEEE, vol. 84, 2, pp. 181-204, Feb.1996.

15 de juliol de 2010 – Societat Catalana de Tecnologia – Institut d'Estudis Catalans

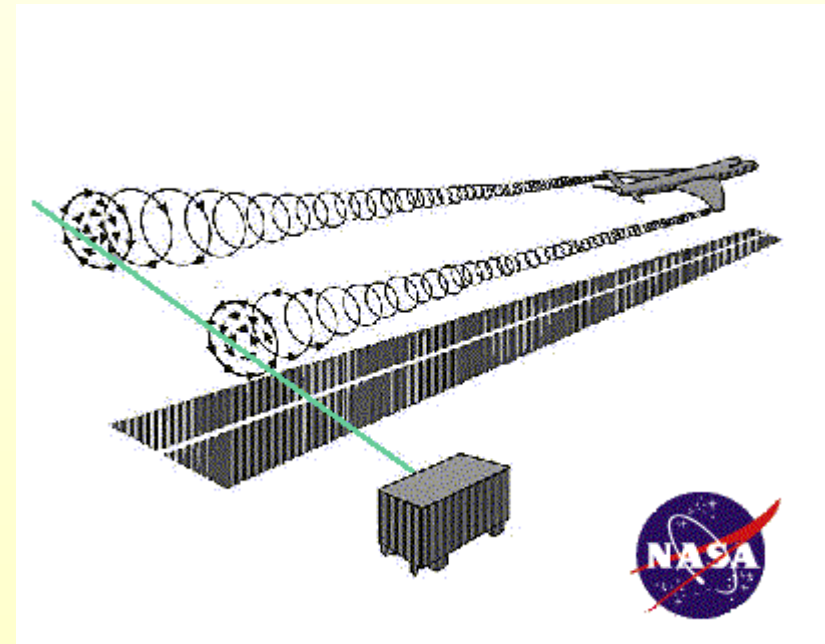


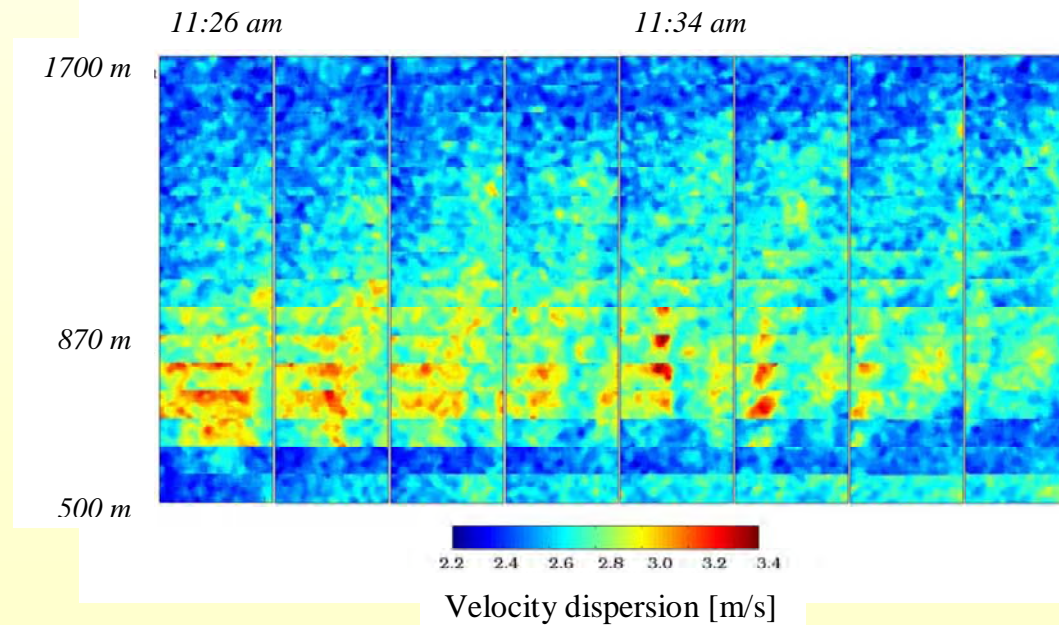
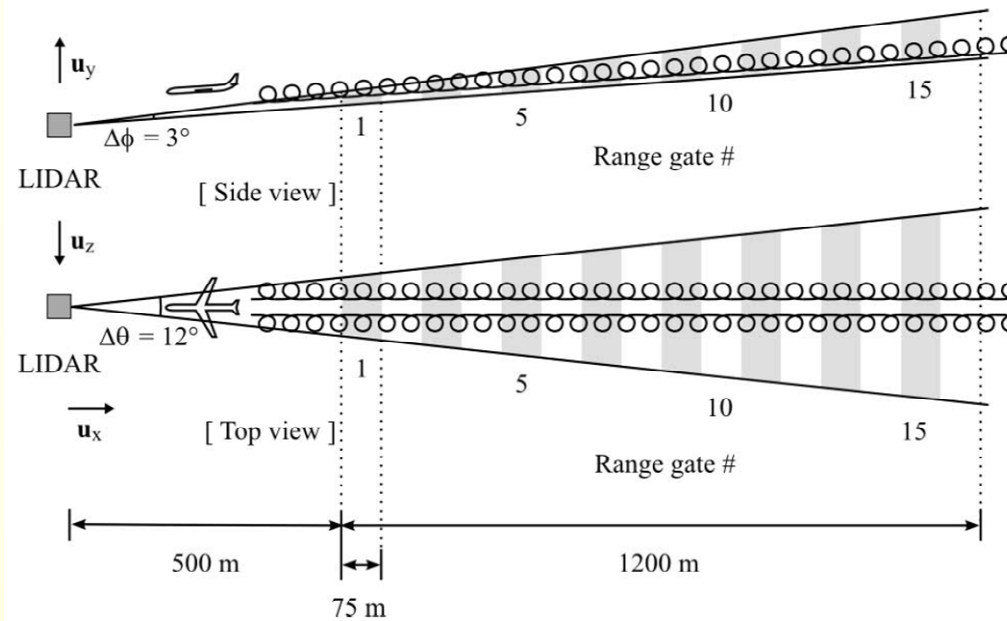


# Lidar Doppler

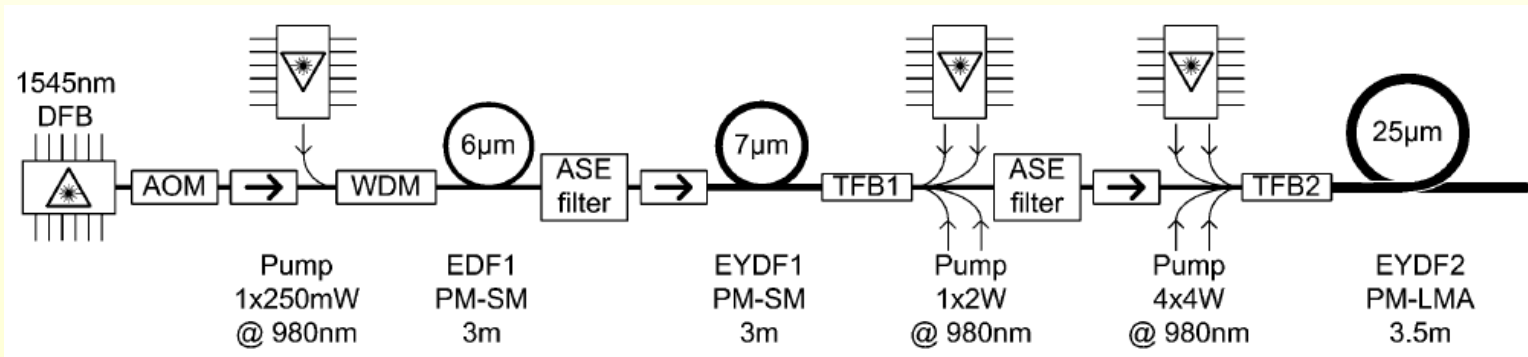
## Aplicacions:

- \*Meteorologia
- \*Seguretat aèria:
  - Cisallament de vent
  - Vòrtex





A. Dolfi-Bouteyre et al. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 15, pp. 441-450, 2009

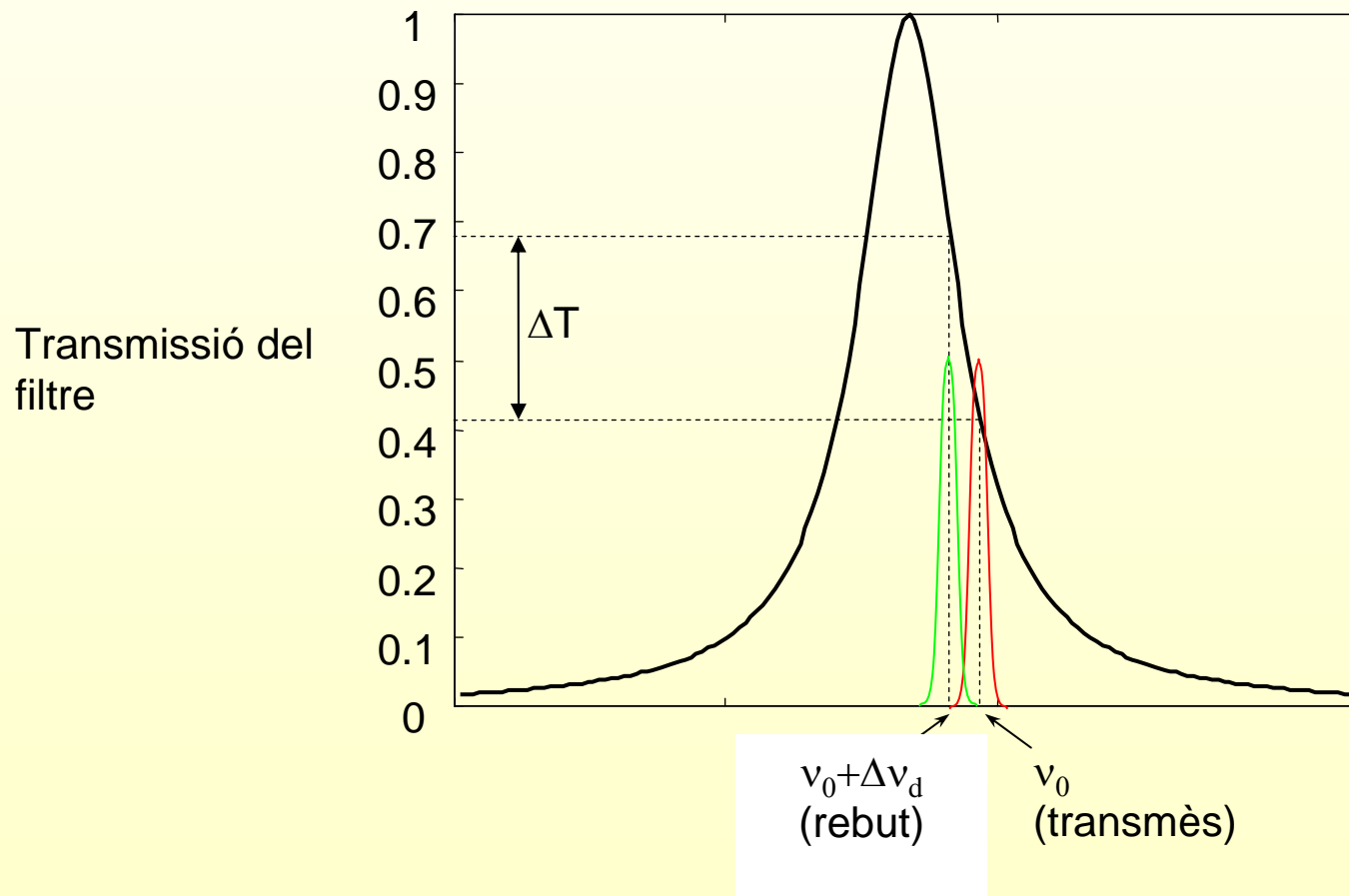


A. Dolfi-Bouteyre et al. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 15, pp. 441-450, 2009



# Lidar Doppler

## Esquema de detecció directa: tècnica de flanc (edge technique)

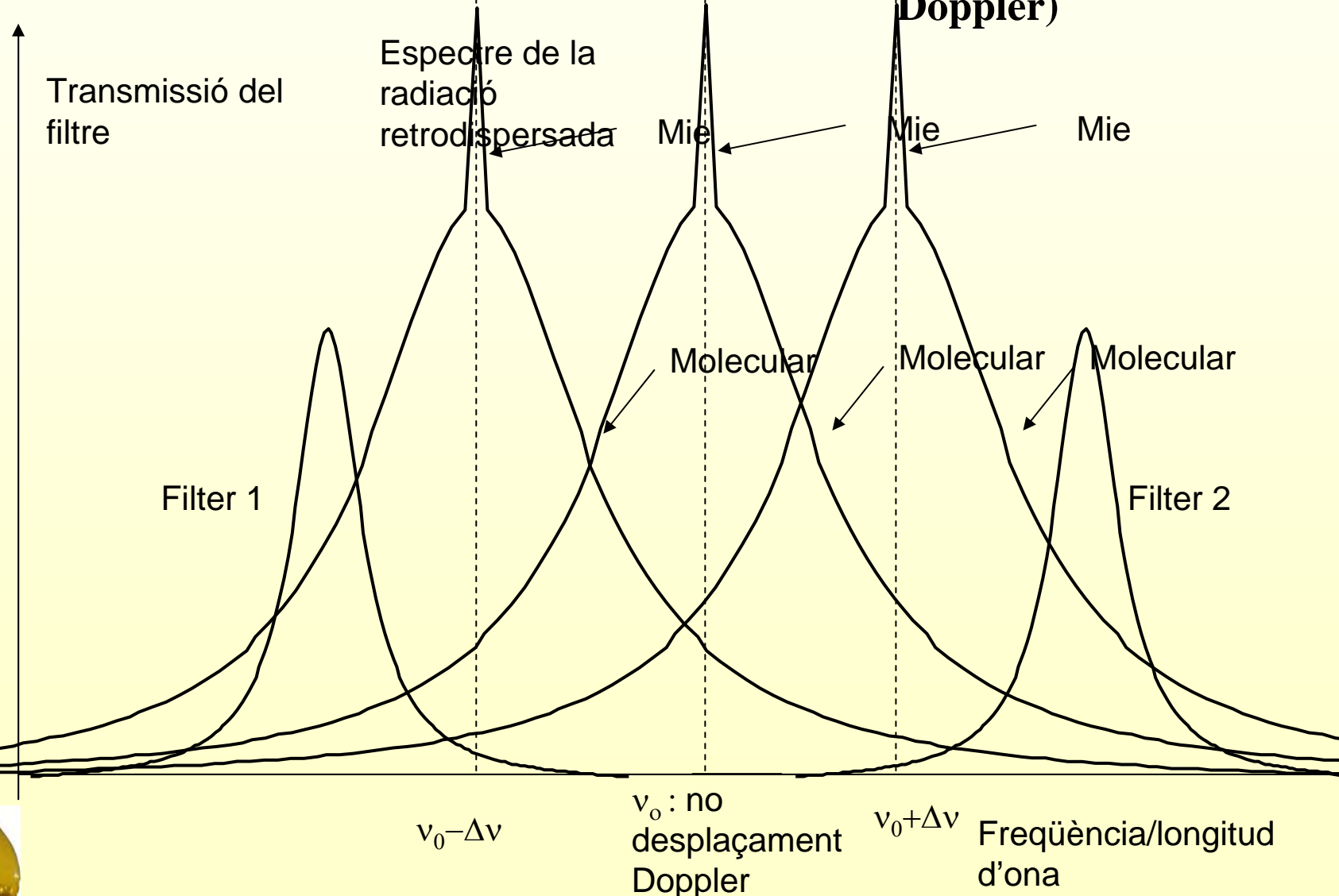






# Lidar Doppler

Esquema de detecció directa: tècnica de flanc doble (retrodispersió desplaçada i eixemplada per efecte Doppler)





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



# ALADIN a ADM-Aeolus (ESA)

Llançament previst 2011





## Lidar de absorció diferencial (DIAL)

### Mesures:

- **Directes:** concentració d'espècies químiques ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ , ...)
- **Indirectes:** temperatura i pressió

### Tipus de làser:

- Colorant,  $\text{CO}_2$ , excímer, Ti:safir, oscil·lador paramètric òptic (OPO), ...

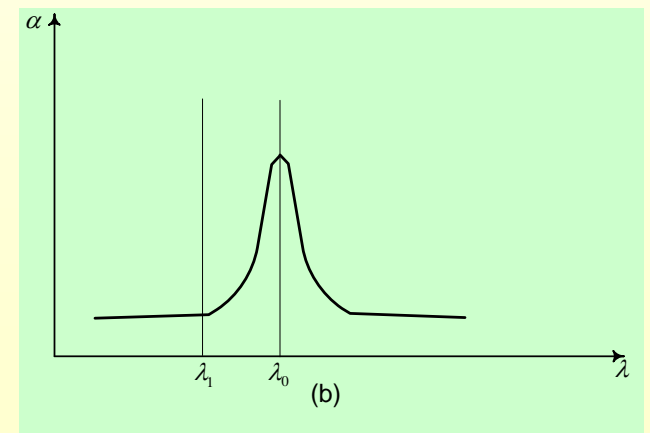
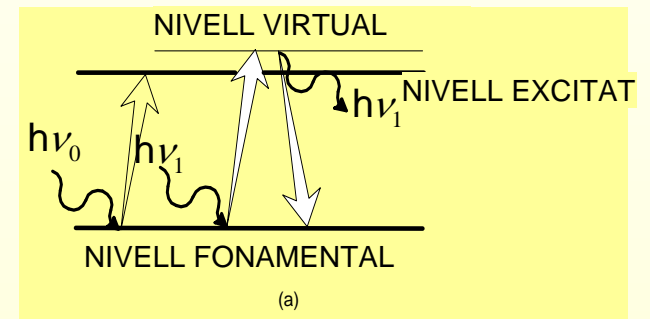
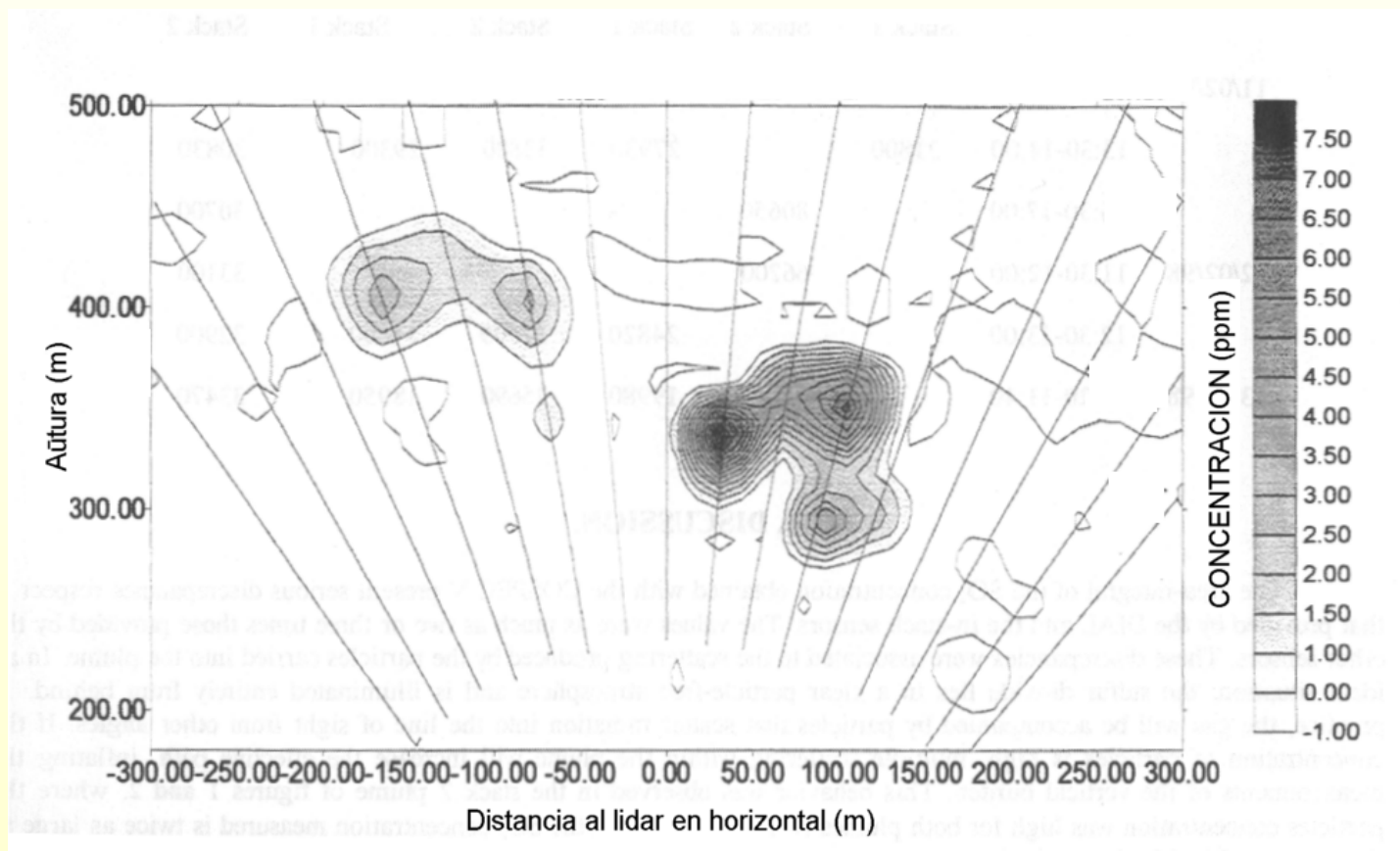


Figura adaptada de R. M. Measures: "Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications". John Wiley & Sons, 1984



## Exemple de mesura DIAL



### Concentració de SO<sub>2</sub> mesurada amb un DIAL amb làser de colorant

F. Molero et al., "Assessment of a DIAL system by comparison with a correlation spectrometer COSPEC V in SO<sub>2</sub> mode", in *Spectroscopic Atmospheric Environmental Monitoring Techniques*, Klaus Schäfer, Editor, Proceedings of SPIE vol. 3493, pp. 106-113, 1998.





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions



## Equip DIAL



## Làser Ti:safir

15 de juliol de 2010 – Societat Catalana de Tecnologia – Institut d'Estudis Catalans



## Equip DIAL

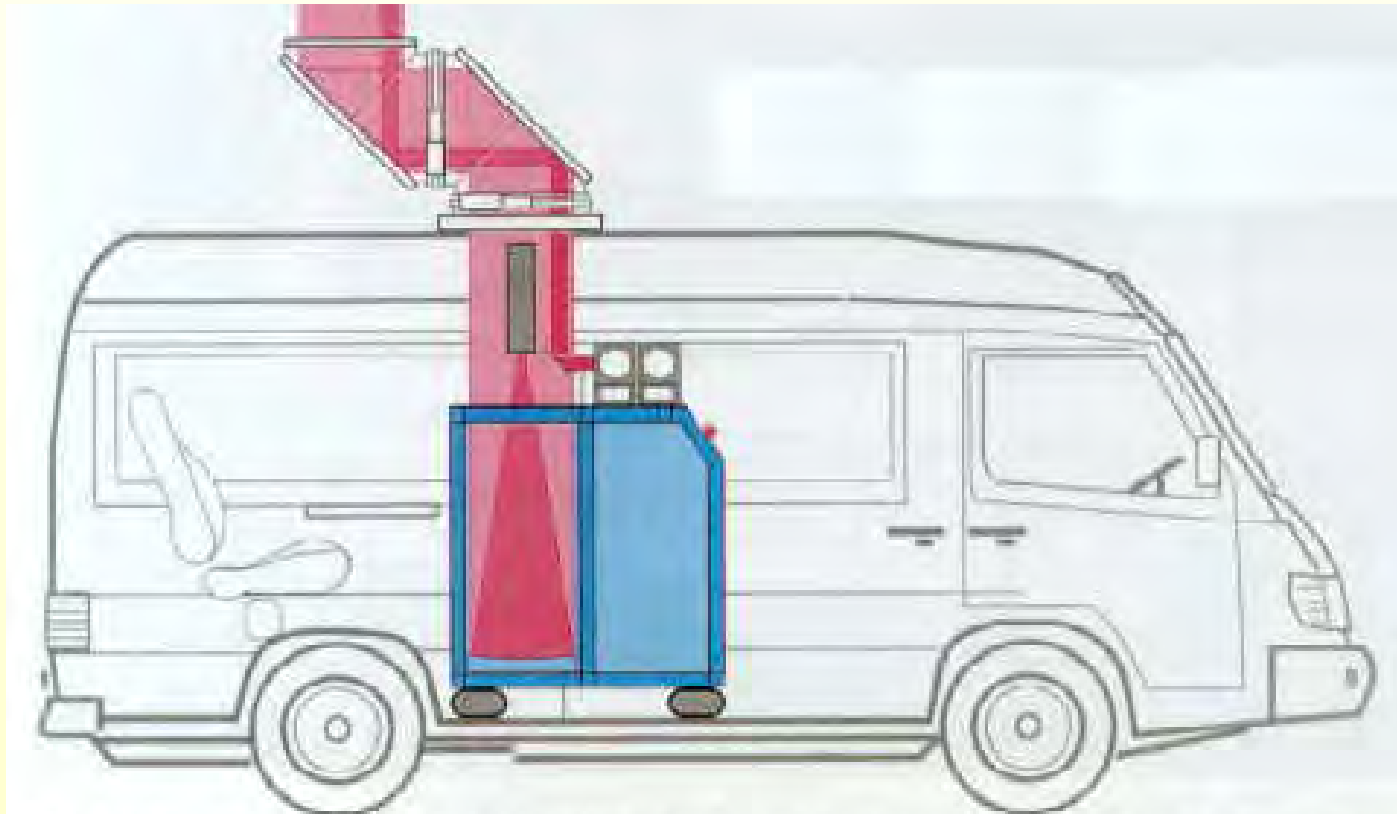


Fig. 2 Schematical drawing of the LIDAR 510 M: The UV laser pulse is emitted through the periscope, which also directs the backscattered light onto a 40-cm telescope mirror.



# LIDAR RAMAN

## Mesures:

- **Directes: concentració d'espècies químiques a l'atmosfera (SO<sub>2</sub>, NO, CO, H<sub>2</sub>S, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>CO, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>...**
- **Indirectes: temperatura**

## Tipus de làser:

- **Rubí ( $\lambda = 694.3 \text{ nm}, 347.2 \text{ nm}$ )**
- **N<sub>2</sub> ( $\lambda = 337 \text{ nm}$ )**
- **Nd:YAG ( $\lambda = 1064 \text{ nm}, 532 \text{ nm}, 355 \text{ nm}$ )**
- **Excímer ( $\lambda \sim 350 \text{ nm}$ )**

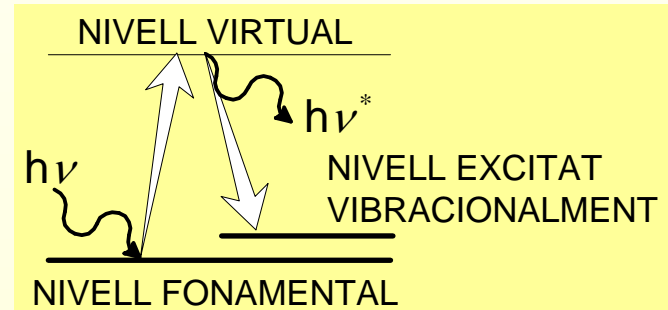
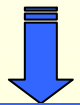


Figura adaptada de R. M. Measures:  
“Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications”. John Wiley & Sons, 1984



# LIDAR RAMAN

La separació entre línies (en  $1/\lambda$ ) no depèn de la  $\lambda$  d'excitació i és pròpia de l'espècie química



Làser no necessita ser sintonitzable

L'espectre Raman identifica la molècula

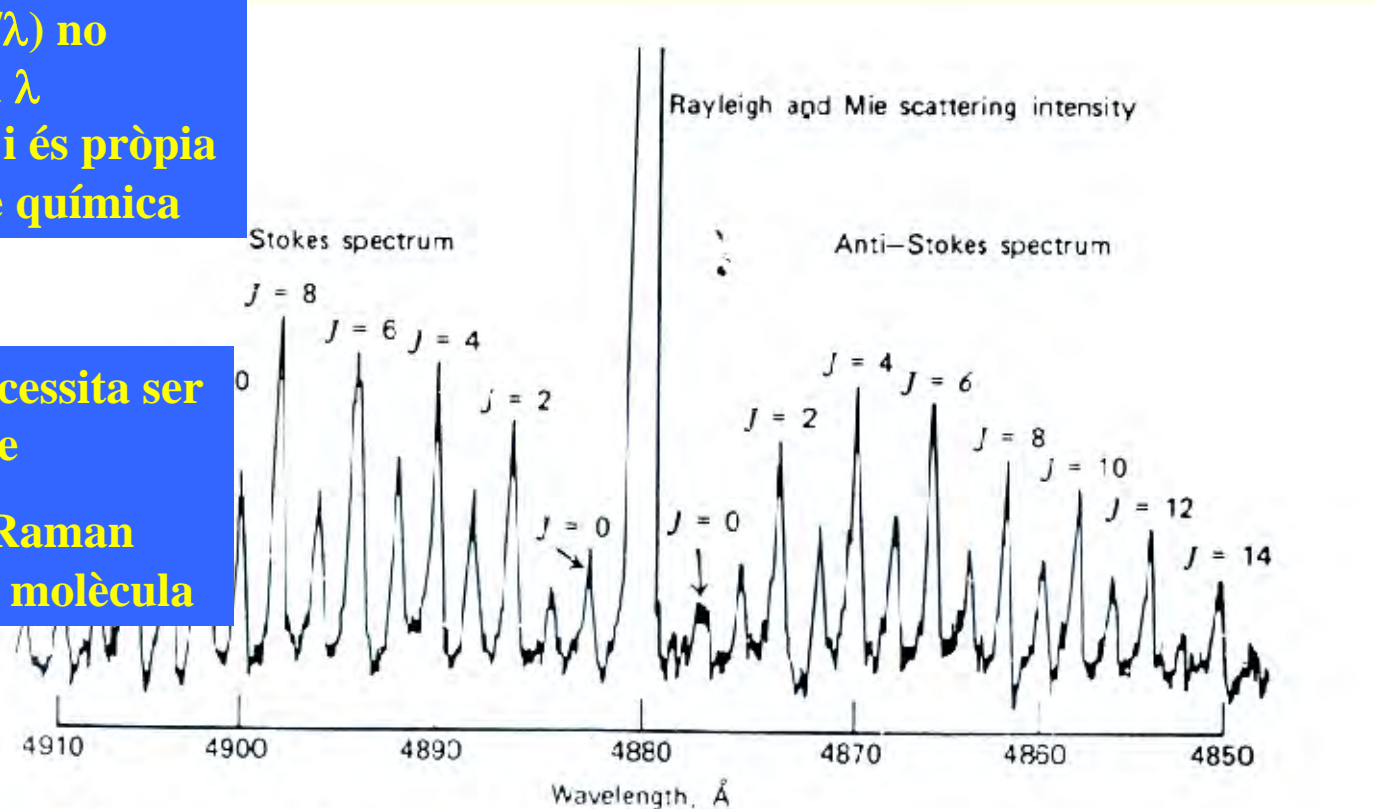


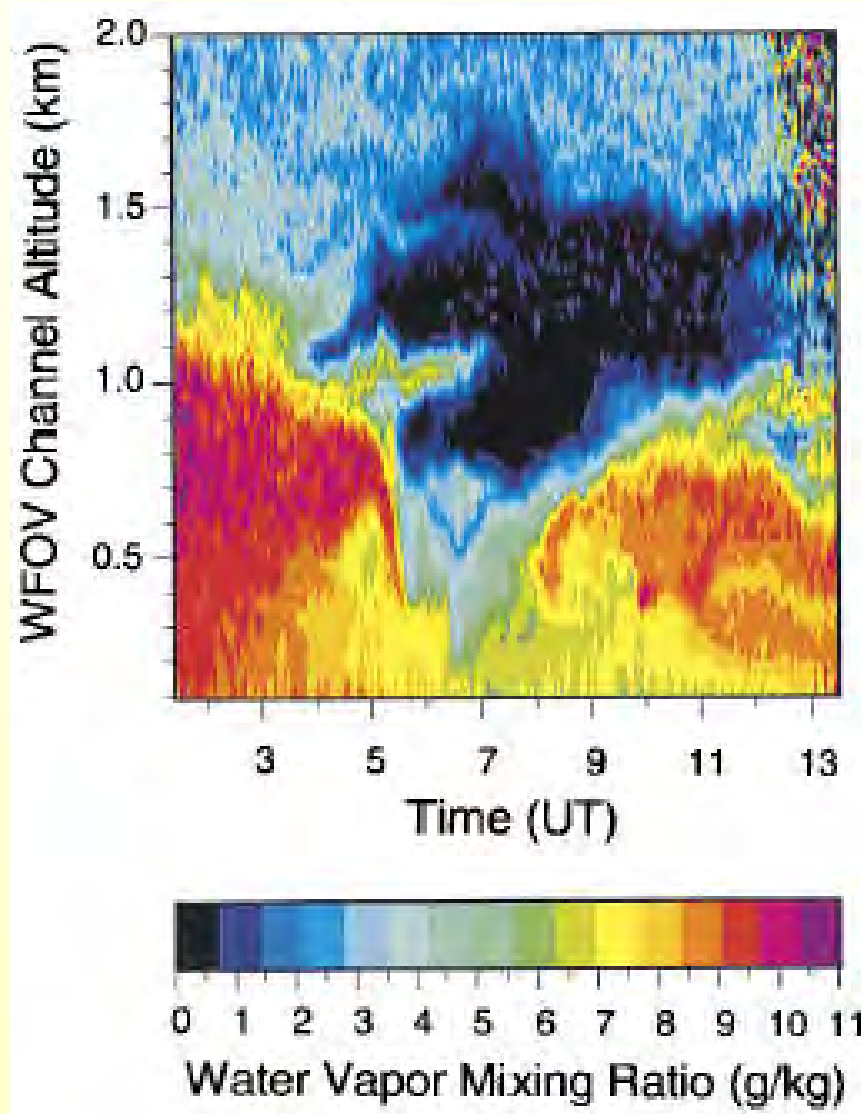
Fig. 3.24. Experimentally measured pure rotational Raman spectrum of nitrogen. Laser excitation wavelength 488.0 nm (Salzman, 1974).

Figura de R. M. Measures: "Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications". John Wiley & Sons, 1984





# LIDAR RAMAN



**Concentració de vapor d'aigua mesurada amb un lidar Raman basat en un làser de Nd:YAG a 355 nm (freqüència fonamental triplicada). Radiació de retorn desplaçada per efecte Raman a 408 nm)**

Goldsmith et al. *Appl. Optics* 27 (21), 1998



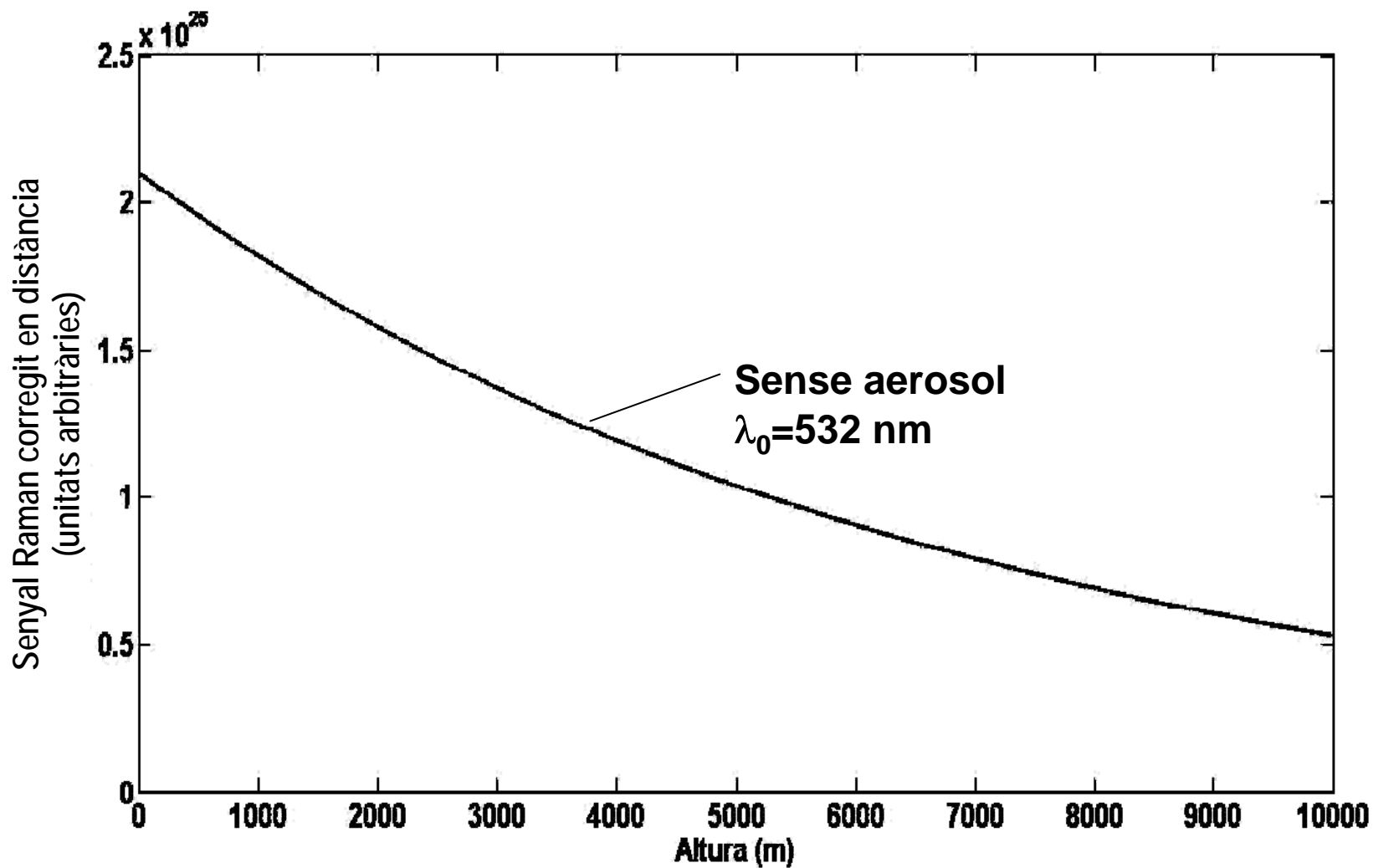
# LIDAR RAMAN

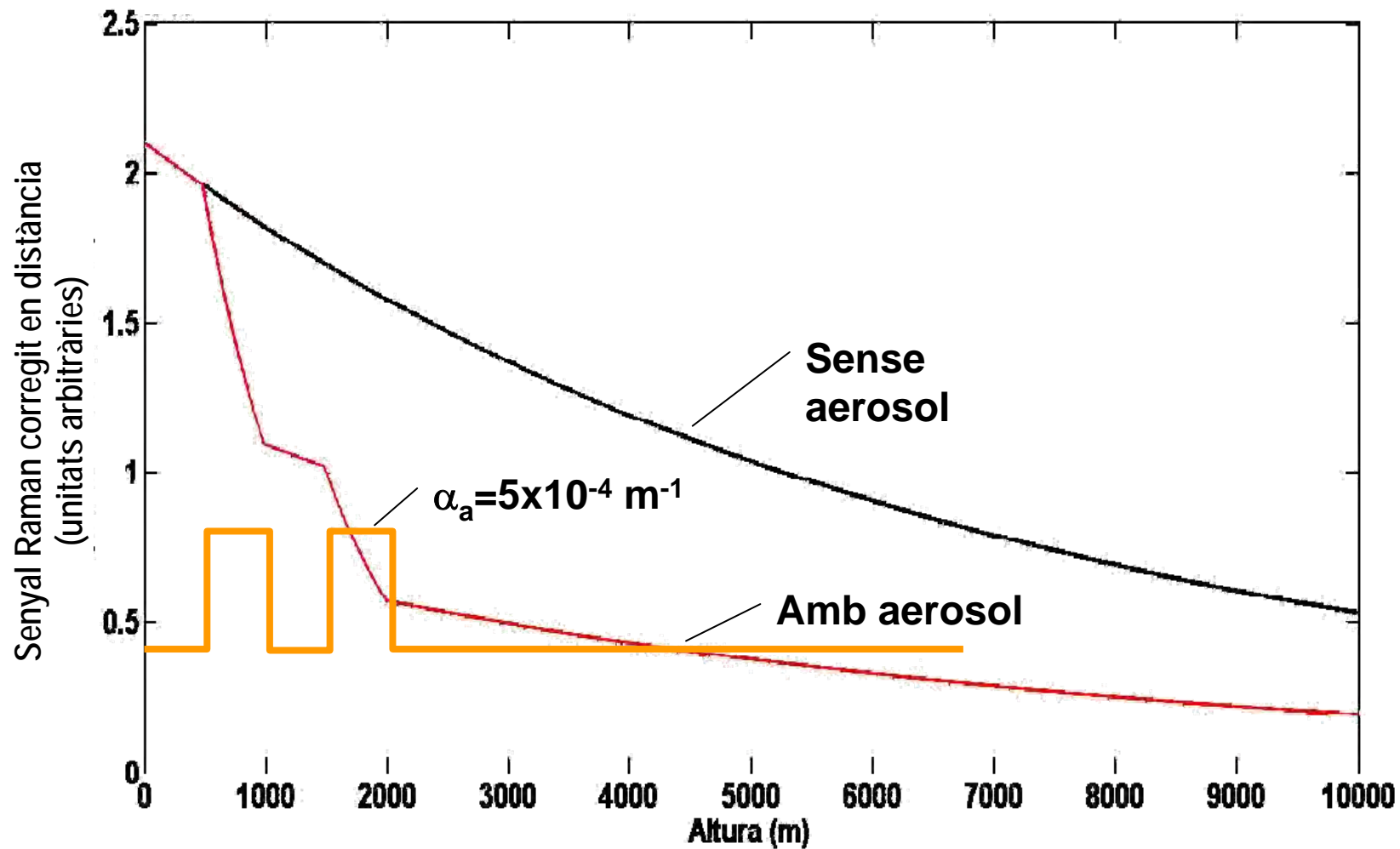
## Aplicació important:

- Mesura dels perfils d'extinció dels aerosols utilitzant la retrodispersió Raman del  $N_2$  atmosfèric

El perfil del  $N_2$  amb l'altura és conegut  $\rightarrow$  les desviacions de la retrodispersió Raman respecte d'un perfil "ideal" dona la informació sobre el coeficient d'extinció

$$P(R)R^2 \propto \beta(R) e^{-2 \int_0^R \alpha(x) dx}$$









# LIDAR DE FLUORESCÈNCIA

## Mesures:

- Concentració d'espècies químiques, especialment a l'alta atmosfera (OH, Na, K, Li, Ca, Ca<sup>+</sup>)
- Detecció de capes de petroli sobre l'aigua, detecció de clorofil·la.

## Tipus de làser:

Colorant, N<sub>2</sub>(λ = 337 nm), Ne

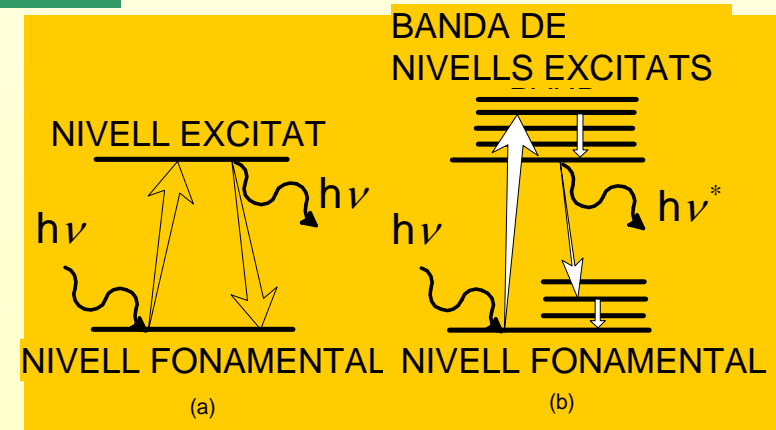


Figura adaptada de R. M. Measures: "Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications". John Wiley & Sons, 1984



# LIDAR DE FLUORESCÈNCIA

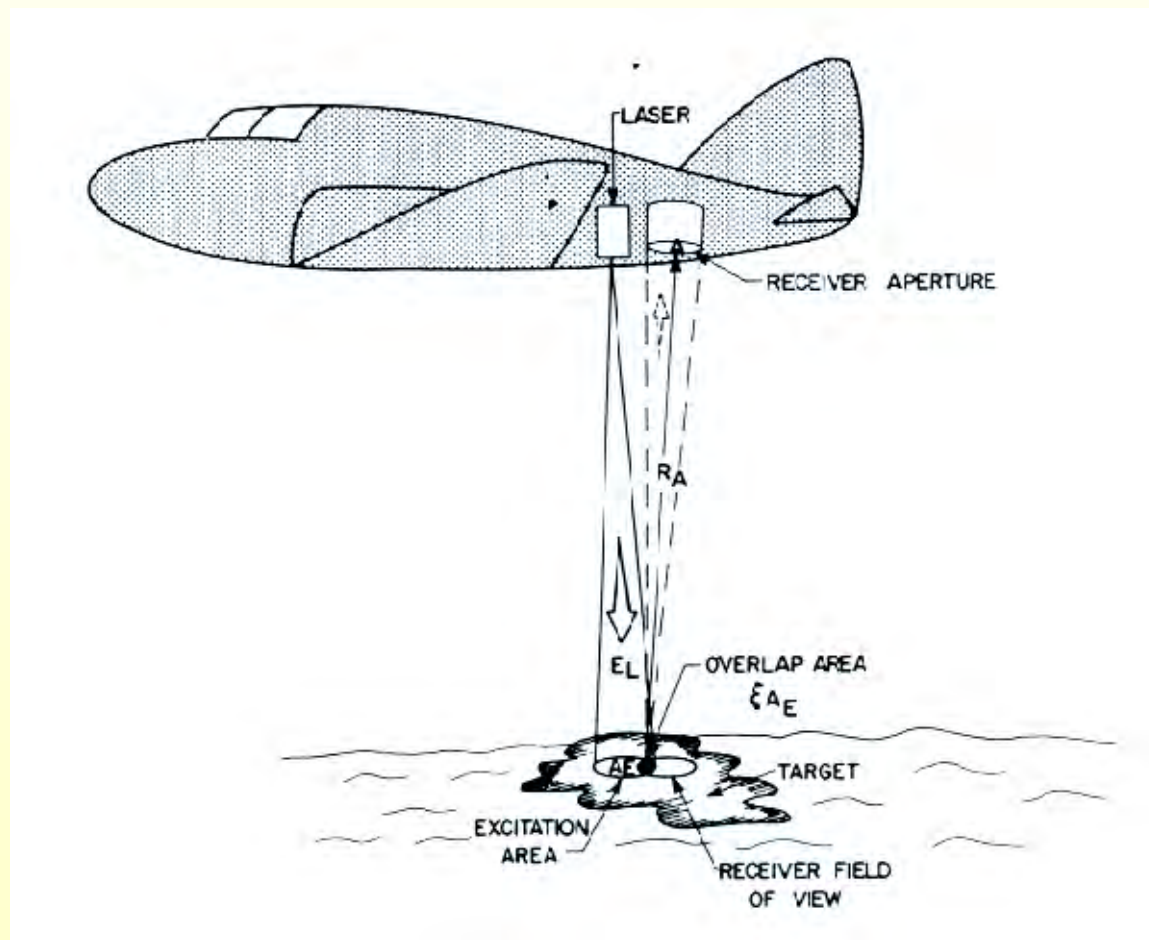


Figura de R. M. Measures: “Laser Remote Sensing. Fundamentals and applications”. John Wiley & Sons, 1984

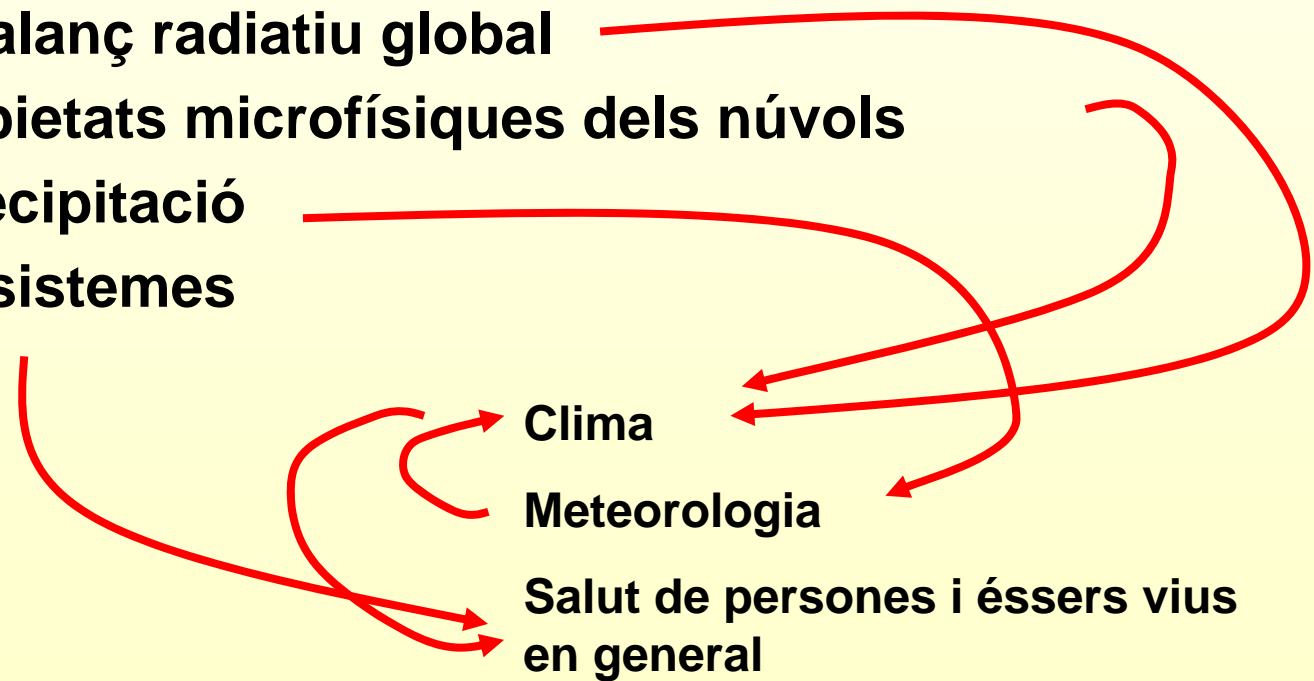


# Xarxes de lidars terrestres per a la mesura d'aerosols

Per què interessa conèixer les distribucions d'aerosols a la atmosfera?

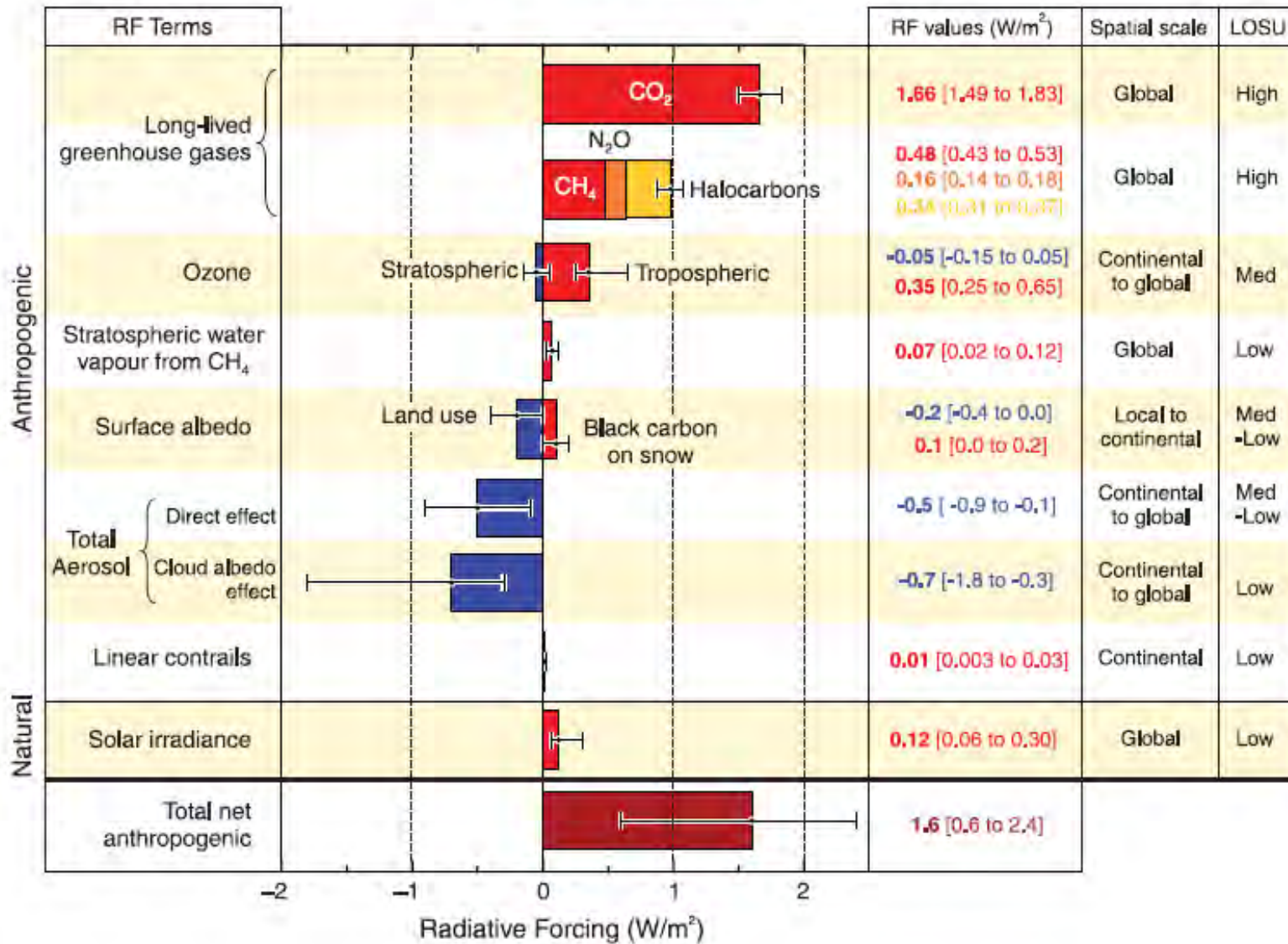
Els aerosols influeixen en:

- el balanç radiatiu global
- propietats microfísiques dels núvols i precipitació
- ecosistemes





### Radiative forcing components



### IPCC 2007





# Xarxes de lidars terrestres per a la mesura d'aerosols



A European Aerosol Research Lidar Network to Establish an Aerosol Climatology

<http://www.earlinet.org/>

24 lidars avançats que treballen de manera coordinada a través d'Europa per aplegar informació de distribucions quadridimensionals (espai-temps) de propietats d'aerosols.

Producte primari: coeficients òptics (extinció i retrodispersió) a diverses longituds d'ona)





# Lidars multilongitud d'ona

- **Objetiu: determinar propietats microfísiques dels aerosols (radi efectiu, radi mitjà, concentració volúmica, etc.) resoltes en distància a partir de mesures dels coeficients òptics (extinció i retrodispersió) a diverses longituds d'ona**
- **Requisits mínims: 2 coeficients d'extinció (per exemple a 355 nm i 532 nm i 3 de retrodispersió (per exemple a 355 nm, 532 nm i 1064 nm) → standard d'EARLINET**
- **Despolarització dóna informació sobre forma de les partícules**



# Xarxes de lidars terrestres per a la mesura d'aerosols

## GALION: Global Atmospheric Watch (OMM) Aerosol Lidar Network

Xarxa de xarxes:

- *Xarxa de lidars llatinoamericana (LALINET)*
- *Asian Dust and Aerosol Lidar Observation Network (AD-Net)*
- *CIS-LINET (Comunitat d'Estats Independents)*
- *Canadian Operational Research Aerosol Lidar Network (CORALNet)*
- *EARLINET*
- *Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) - Global*
- *REALM/CREST (Nordest de Amèrica)*
- *MPLNET (Global)*



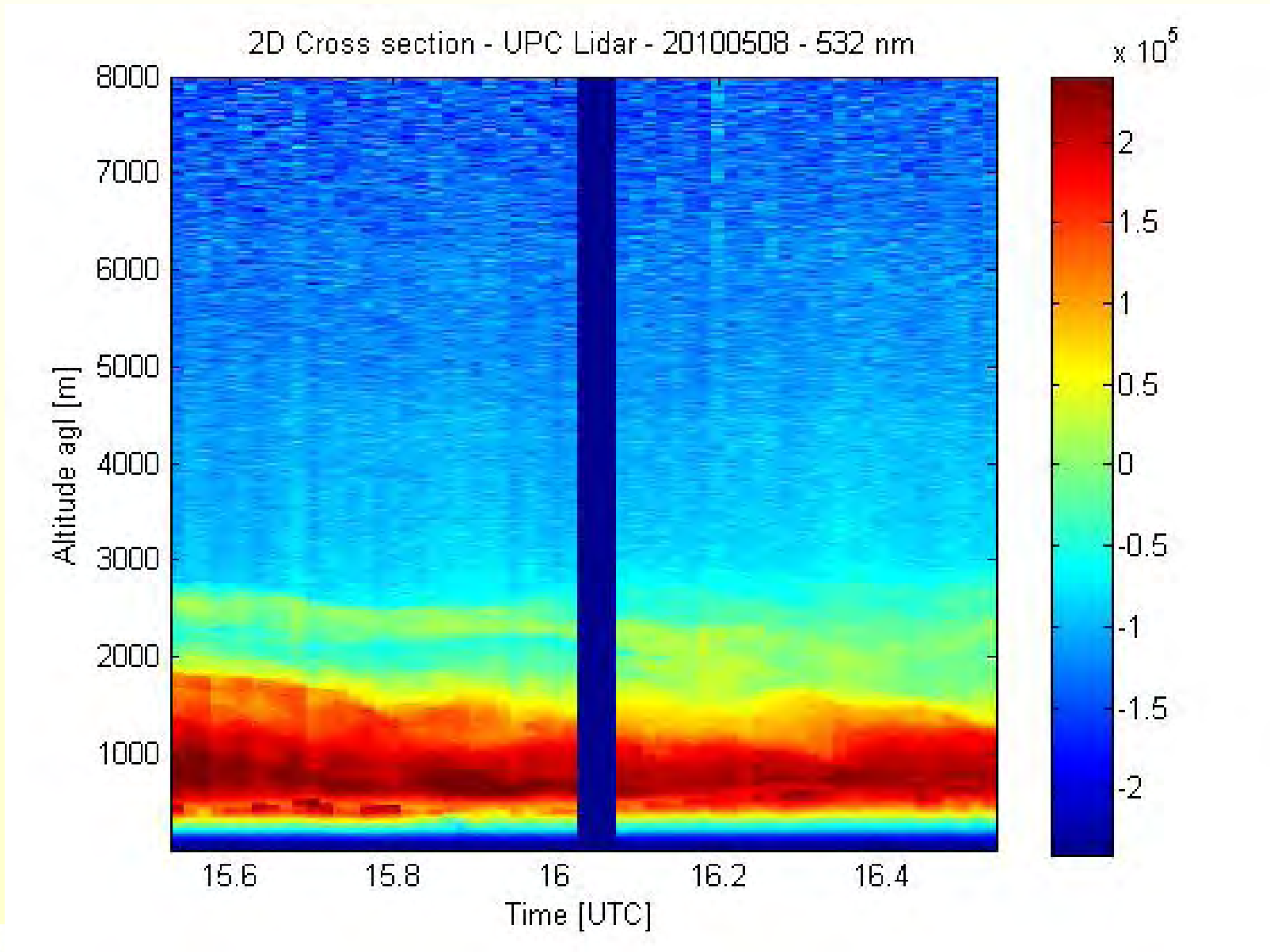
## Resum / conclusions

- Les tècniques lidar son les úniques tècniques de teledetecció atmosfèrica òptica que ofereixen mesures amb resolució en distància.
- Els lidars atmosfèrics estan assolint un notable grau de maduresa gràcies a la confluència de progressos en la tecnologia de fonts de làser, de fotodetectors i d'ordinadors.
- Ventall d'aplicacions provades, en particular en els camps de la teledetecció mediambiental, meteorologia i estudis del clima.
- Tendències:
  - Treball en xarxa de sistemes operats des de terra
  - Sistemes espacials per a monitorització de l'atmosfera a escala global





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions





Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions

